

# I SIVAR – V SICAMER 2026

*“Saberes que conectan el mundo: valorización, catálisis y energía para la sostenibilidad global.”*

Facultad de Minas. 1-5 de junio de 2026

ISSN: 2955-0238 (en línea)



**I Simposio Internacional en Valorización de Residuos**  
**V Simposio Internacional en Catálisis Ambiental y Energías Renovables**  
**I SIVAR – V SICAMER 2026 Modalidad Híbrida: Memorias, Número 5**

© 2026, Universidad Nacional de Colombia, Medellín

Facultad de Minas

© 2026, **Luz Marina Ocampo Carmona, Camilo Andrés Villazón Villazón, Alba Nelly Ardila Arias,**  
**Compiladores**

© Varios autores

**ISSN: 2955-0238 (En línea)**

Memorias: 5

Periodicidad: bianual

**INSTITUCIONES Y EMPRESAS ORGANIZADORAS**

Red de Valorización de Residuos (REDVAR) – Universidad Nacional de Colombia

Universidad Nacional de Colombia

Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

Tecnológico de Antioquia

Faro Tecnológico

Biomassnest

**COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL**

Dr. Cecilia Lederhos, Universidad Nacional del Litoral/CONICET, Argentina.

Dr. Juan M Bada, Universidad Nacional del Litoral/CONICET, Argentina

Dra. Sibele Pergher, Universidad Federal Do Rio Grande do Norte -UFRN, Brasil.

Dra. Luz Amparo Palacio Santos, Universidade Estadual de Rio de Janeiro, Brasil.

Dra. Gina Angela Pecchi Sánchez, Universidad de Concepción, Chile.

Dr. Miguel Angel Centeno, Universidad de Sevilla-CSIC, España.

Dr. Salvador Ordoñez García, Universidad de Oviedo, España.

Dr. Luis Antonio Ortiz Frade, Centro de Investigación CIDETEQ. México.

Dr. Zeferino Gamino, Universidad de Guanajuato, México.

Dr. Fernando Gómez, Universidad de Guanajuato, México.

Dr. Gustavo A. Fuentes, Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, México.

Dr. Enelio Torres García Instituto Mexicano del Petróleo, México.

Dr. José Alfredo Hernández Martínez. Instituto Politécnico Nacional. México.

**COMITÉ CIENTÍFICO NACIONAL Y COMITÉ ORGANIZADOR**

Dra. Luz Marina Ocampo Carmona, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín

Dra. Alba Nelly Ardila Arias, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Colombia.

Dra. Yazmin Agamez Pertuz, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá

Dr. Diego Camilo Duran García, Universidad Nacional de Colombia, sede La Paz

Dra. Mónica Viviana Sandoval Rincón, Universidad Nacional de Colombia, sede La Paz

Dr. Eduard Ricardo Romero Malagón, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá

Dr. Arturo Samuel Gómez Insuasti, Universidad Nacional de Colombia, sede Leticia

Dr. Marco Antonio Márquez Godoy, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín



Dra. Leidy Hoyos Giraldo, Tecnológico de Antioquia  
Dr. Fabio Alexander Suárez Bustamante, Faro Tecnológico  
Dra. Yazmin Yaneth Agamez Pertuz, Universidad Nacional de Colombia  
Dra. Janneth Torres Agredo, Universidad Nacional de Colombia  
Dr. Luis Octavio González Salcedo, Universidad Nacional de Colombia  
Dra. Angela Adriana Ruiz Colorado, Universidad Nacional de Colombia  
Dra. Maurin Salamanca Guzmán, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín  
Dra. Edith Cadena Chamorro, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín  
Dra. Elizabeth Carvajal Flórez, Universidad Nacional de Colombia  
Dra. Luz Dinora Vera Acevedo, Universidad Nacional de Colombia  
Dr. Luis Carlos Moreno Aldana, Universidad Nacional de Colombia  
Dr. Andrés Cabrera Orozco, Universidad Nacional de Colombia  
Dr. Jorge Enrique Gómez López, Universidad Nacional de Colombia  
Dra. Aida Luz Villa Holguín, Universidad de Antioquia  
M.Sc. Karen Bibiana Quiroga Salinas, Universidad Nacional de Colombia  
M. Sc. Erasmo Arriola Villaseñor, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid  
M.Sc. Santiago Bedoya Betancur, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid  
M.Sc. Francisco José Valencia Alaix, Consultor Independiente  
M. Sc. Hernando Palacio Hajduk, Biomassnest  
M. Sc. Santiago Gutiérrez, Biomassnest  
M.Sc. Laura Sofia Benavides Maya, Universidad Nacional de Colombia

### **COMITÉ DE APOYO LOGÍSTICO**

Camilo Andrés Villazón Villazón  
Anderson Elian Gutiérrez Bueno  
Gina Yulisa Realpe Cuarán  
Luisa Marcela Castillo Chica  
Danna Valentina Salinas Ruiz  
Sergio Esteban Garzón Barrera  
Dayana Portillo Izquierdo  
Roberto Luis Izquierdo Richther  
Luisa Fernanda Mosquera Idrobo:  
Carolina Bedoya Muñoz  
Eliana Berrio Mesa

### **DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN**

Luz Marina Ocampo Carmona y Camilo Andrés Villazón Villazón  
[lmocampo@unal.edu.co](mailto:lmocampo@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2025





## Índice

|                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----|
| Prólogo                                                                                                                                                                                                                                                                            |         | 20 |
| Presentación                                                                                                                                                                                                                                                                       |         | 21 |
| Objetivos: general y específicos                                                                                                                                                                                                                                                   |         | 23 |
| Conferencistas internacionales                                                                                                                                                                                                                                                     |         | 24 |
| Conferencistas nacionales                                                                                                                                                                                                                                                          |         | 26 |
| Minicursos                                                                                                                                                                                                                                                                         |         | 28 |
| Comité Científico y Organizador                                                                                                                                                                                                                                                    |         | 30 |
| Resultados académicos                                                                                                                                                                                                                                                              |         | 37 |
| Agradecimientos                                                                                                                                                                                                                                                                    |         | 37 |
| Programa Resumido                                                                                                                                                                                                                                                                  |         | 39 |
| Trabajos Área Temática                                                                                                                                                                                                                                                             |         |    |
| <b>VALORIZACIÓN DE RESIDUOS Y ECONOMÍA CIRCULAR- VREC</b>                                                                                                                                                                                                                          |         | 44 |
| <b>From waste to nanomaterials - Scaling up and Life Cycle Assessment for Carbon Quantum dot Production using agro-industrial residues.</b> Stephania Rosales, Natalia Cano, Karol Zapata, Farid B. Cortés, Agustín F. Pérez-Cadenas, Camilo A. Franco.                            | VREC-01 | 45 |
| <b>Evaluación del potencial energético de la conejaza en el dimensionamiento de biodigestores tipo balón, como alternativa frente a sustratos tradicionales.</b> Dairo Janover Peña-Cárdenas, Luis Octavio González-Salcedo.                                                       | VREC-02 | 47 |
| <b>Pirólisis catalítica de subproductos de la industria del polietileno: Transformación de ceras comerciales en combustibles líquidos.</b> Cristian Piqueras, María Volpe, Victor Sandoval.                                                                                        | VREC-03 | 49 |
| <b>Bioadsorción de colorantes sintéticos en agua con cáscara de pistache (Pistacia vera L.).</b> Adan Máximo Galicia, Dr. José Alfredo Hernández Maldonadob, Dra. Alba N. Ardila A, Dra. María Mercedes Salazar Hernández.                                                         | VREC-05 | 51 |
| <b>Comportamiento de estructuras cerámicas en reacciones de revalorización de biomasa.</b> Jesús A. Mizger Ortega, Inés S. Tiscornia, Soledad G. Aspromonte.                                                                                                                       | VREC-06 | 53 |
| <b>Catalizadores preparados a partir de residuos vegetales postcosecha: aplicación en la síntesis de levulinato de butilo en reacciones asistidas por microondas.</b> Andrés F. Monroy, Valeria Palermo, Ángel G. Sathicq, José F. Bengoa, José J. Martinez, Gustavo P. Romanelli. | VREC-07 | 55 |





|                                                                                                                                                                                                                                                                                               |         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----|
| <b>Co-producción de ácidos láctico y glicólico a partir de azúcares derivados de biomasa usando catalizadores ZnO-ZrO<sub>2</sub>.</b> Federico A. Piovano, Facundo C. Herrera, Soledad G. Aspromonte, Galo Soler-Illia, Alicia V. Boix.                                                      | VREC-08 | 57 |
| <b>Estimación del potencial energético de residuos de biomasa lignocelulósica provenientes de actividades económicas en comunidades rurales de la ribera del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México.</b> Octavio-Alejandro Castillo-Tera, Rutiaga-Quñones José-Guadalupe, Mario Morales-Máximo. | VREC-09 | 59 |
| <b>De residuo a recurso: desarrollo local sustentable y fortalecimiento de la cadena de valor de residuos maderables de Pinus spp., en San Fco. Pichátaro, Michoacán, México, a través de biocombustibles sólidos.</b> Mario Morales-Máximo, José Guadalupe Rutiaga-Quñones.                  | VREC-10 | 61 |
| <b>Estimación del potencial bioenergético a partir del aprovechamiento de los conos de pino (Pinus spp.), en una comunidad rural del estado de Michoacán, México.</b> Santiago Nicolás-Máximo, José Guadalupe Rutiaga-Quñones, Mario Morales-Máximo.                                          | VREC-11 | 63 |
| <b>Carbones activados obtenidos a partir de plumas de gallina para la captura de CO<sub>2</sub>.</b> M. de los Milagros Deharbe, Ramiro Serra, Leticia Gómez, Alicia Boix.                                                                                                                    | VREC-12 | 65 |
| <b>Valorización de descartes de la industria yerbatera como fuente de antioxidantes naturales.</b> Mercurio, Joaquin Ignacio., Ferretti, Cristián Alejandro., Reinheimer, María Agustina., Godoy, Ezequiel., Torresi, Pablo.                                                                  | VREC-13 | 67 |
| <b>Obtención de extractos de alto valor agregado a partir de descartes de la industria vitivinícola.</b> Mercurio, Joaquin Ignacio., Ferretti, Cristián Alejandro., Reinheimer, María Agustina., Godoy, Ezequiel., Torresi, Pablo.                                                            | VREC-14 | 69 |
| <b>Valorización de residuos de cáscara de mango mediante la extracción de fibra dietaria soluble: influencia del pretratamiento ultrasónico y enzimático.</b> Jhonatan Quiñonez Ensuncho, Beatriz Valdés Duque, Juan Osorio Tobón.                                                            | VREC-15 | 72 |
| <b>Pirólisis térmica y catalítica de bidones fitosanitarios.</b> Martín C. Piqueras, Milagros Permuy Vidal, Jorge E. Colman Lerner, Gabriel Rodríguez Garrido, Mara Volpe, Jorge E. Sambeth.                                                                                                  | VREC-16 | 73 |
| <b>Valorización de la fracción orgánica mediante el proceso de compostaje en la comunidad indígena de la isla de Janitzio, Michoacán. México.</b> Antonio Campos De La Cruz, Luis Bernardo López Sosa, Michel Alejandro Rivero Corona y Sayra Lissette Orozco Cerros.                         | VREC-17 | 75 |
| <b>Análisis cinético y mecanístico de la co-pirólisis catalítica de polipropileno y biomasa (cáñamo industrial).</b> Milagros Permuy Vidal, Jorge E. Colman Lerner, Jorge Sambeth.                                                                                                            | VREC-18 | 77 |
| <b>Eficiencia hídrica y valorización proteica del aquafaba en servicios de alimentación: optimización del proceso en un comedor industrial.</b> Mariana Pieroni, María Ángeles Guraya, Ezequiel Godoy, María Agustina Reinheimer.                                                             | VREC-19 | 79 |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                   |         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----|
| <b>Preparación de biocatalizadores a partir de PET reciclado. Inmovilización de lipasa CALB y evaluación de su actividad.</b> Agata E. Salvatore, Carlos R. Llerena Suste, M. Victoria Gallegos, Laura Damonte, Laura E. Briand, Jorge Sambeth, Carla José.                       | VREC-20 | 81  |
| <b>Valorización de bagazos de frutas y hortalizas en la reformulación de galletitas reducidas en azúcar y grasa.</b> Daniela Matjazic, Nadia Lingardi, César Bruguezzi, Selene Kozyra Bilicich, Regina Formigli, Gisela Piccirilli, Roxana Verdini, Emilce Llopart, Marina Soazo. | VREC-21 | 83  |
| <b>Efecto de la deslignificación previa sobre la producción de ácido levulínico a partir de aserrín de quebracho.</b> Pablo D. Campagna, Marisa Falco, Melisa Bertero.                                                                                                            | VREC-22 | 85  |
| <b>Gestión de residuos de baterías de ion-litio: enfoques para su tratamiento y valorización.</b> Milena Marino, Valentina Prieto Comelli, Irene Giusti, Martín Ramon, M. Victoria Gallegos, Jorge Sambeth, Andrés Peluso.                                                        | VREC-23 | 87  |
| <b>Efecto de la concentración química elemental orgánica en biorresiduos sobre la temperatura de flama adiabática.</b> Fernando Damián Barajas-Godoy, José Guadalupe Rutiaga-Quñones, Marco Antonio Martínez-Cinco.                                                               | VREC-24 | 89  |
| <b>Simbiosis Industrial en Colombia: retos y oportunidades.</b> Carolina Bedoya Muñoz, Luisa Fernanda Mosquera Idrobo, Janneth Torres Agredo.                                                                                                                                     | VREC-25 | 91  |
| <b>Valorización de Neumático Fuera de Uso en un reactor de gasificación de lecho fluidizado.</b> Franco Nardia, Liza Dosso, Mariana Busto, Juan Manual Badano.                                                                                                                    | VREC-26 | 93  |
| <b>Obtención de ácido fórmico mediante la oxidación catalítica de furfural sobre Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> promovida con Sn.</b> Sandra Z Romero, Cristina Megías-Sayago, Svetlana Ivanova, Pablo J Luggren, Verónica K. Díez.                                                  | VREC-27 | 95  |
| <b>Catalizadores basados en biocarbones para procesos de esterificación: efecto del origen de la biomasa.</b> Camila M. Loffredo, Mariana Alvarez.                                                                                                                                | VREC-28 | 97  |
| <b>Neutralización y cristalización por solventes como estrategia para la purificación del glicerol crudo.</b> Bueno, Camila M., Pompeo Francisco, Santori Gerardo, Gatti Martín N.                                                                                                | VREC-30 | 99  |
| <b>Esterificación de glicerol crudo con ácido acético empleando la resina comercial CT-275.</b> Inglieri Lucas, Perez Federico M., Pompeo Francisco, Santori Gerardo., Gatti Martín N.                                                                                            | VREC-31 | 101 |
| <b>Síntesis y caracterización de arcillas pilareadas para valorización de biomasa.</b> Belén M. Viola, Ema V. Sabre, Sandra G. Casuscelli, Analía L. Cánepa.                                                                                                                      | VREC-32 | 103 |
| <b>Valorización del bagazo fibroso de Canna edulis mediante su transformación en un catalizador ácido heterogéneo para la hidrólisis de almidón de Manihot esculenta.</b> Michel Beltran Alferez, Dayana Dueñas Esquivel, Helena García-Rosero.                                   | VREC-33 | 105 |
| <b>Glicólisis de PET utilizando catalizadores Fe soportados en nanotubos de carbono para la obtención de BHET.</b> Gustavo Enrique Ramos Montero, Adriana Daniela Ballarini, Patricia Daniela Zgolicz, Sonia Alejandra Bocanegra.                                                 | VREC-34 | 107 |
| <b>Aprovechamiento del aquafaba y la harina de lentejas para el desarrollo de</b>                                                                                                                                                                                                 |         |     |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |         |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----|
| <b>bioplásticos sostenibles mediante moldeo por inyección.</b> Golzi, María Eugeniaa., Félix Manuel., Marchetti, Lucas., Lorenzo, Gabriel.                                                                                                                                                                                                   | VREC-35 | 109 |
| <b>Valorización de la biomasa mediante MOFs de Zirconio: producción de <math>\gamma</math>-valerolactona.</b> Evelin L. Savarino., Nancy F. Bálsamo., Angélica C. Heredia.                                                                                                                                                                   | VREC-36 | 111 |
| <b>Hidrólisis catalítica de celulosa pre-tratada con líquidos iónicos para la obtención de productos de alto valor.</b> Paula Saires, Federico Piovano, Leticia Gómez, Alicia Boix.                                                                                                                                                          | VREC-37 | 113 |
| <b>Síntesis y caracterización de nefelinas adsorbentes utilizando residuos de minería del carbón de Samacá - Boyacá.</b> Vanessa Tatiana Salas Salas, Dairy Slendy Parra Borda, Carlos Ordulio Calderón Carvajal, Marco Antonio Ardila Barragán, María del Pilar Triviño Restrepo.                                                           | VREC-38 | 115 |
| <b>Estudio termodinámico para la valorización de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> verde mediante síntesis directa de dimetil éter.</b> Tomás Mahmud, Cristina Padró, Andrés Trasarti, María Eugenia Sad.                                                                                                                                       | VREC-39 | 117 |
| <b>Efecto de la especie metálica en sistemas heterogéneos de deshidrogenación para la metátesis catalítica de alcanos: una ruta prometedora para la revalorización de residuos plásticos.</b> Ignacio Centeno-Vega, Cristina Megías-Sayago, Nuria Rendón, Andrés Suárez y Svetlana Ivanova.                                                  | VREC-40 | 119 |
| <b>Electrodialisis bipolar en la purificación de efluentes farmacéuticos (AINES) mediante configuraciones de membranas de intercambio iónico.</b> Andrea Molina Jimenez, Luisina Demonte, Brian Noel González, Laura Beatriz Gutierrez, María Laura Bosko.                                                                                   | VREC-41 | 121 |
| <b>Evaluación de la electrodialisis para la recuperación de ketoprofeno en efluentes industriales sintéticos.</b> Andrea Molina Jimenez, Ignacio Cristian Huber, Brian Noel González, Laura Beatriz Gutierrez, María Laura Bosko.                                                                                                            | VREC-42 | 123 |
| <b>Síntesis de filtros catalíticos combinando fibra celulósica reciclada y fibras biomórficas.</b> Leonardi Sabrina, Tiviroli Juan Francisco, Milt Viviana.                                                                                                                                                                                  | VREC-43 | 125 |
| <b>Extracción hidrotermal y conversión catalítica: Puesta en valor de azúcares y polisacáridos del salvado de trigo asistida por ZrO<sub>2</sub> mesoporosa.</b> Lucas E. Retamar., Federico A. Piovano., Alicia V. Boix., Soledad G. Aspromonte.                                                                                            | VREC-44 | 127 |
| <b>Remoción de especies metálicas en biodiésel mediante adsorbentes obtenidos a partir de olote.</b> Henry Steven Catota Sáenz, Hilda Elizabeth Reynel Ávila.                                                                                                                                                                                | VREC-45 | 129 |
| <b>Biofertilización de Calendula officinalis: evaluación del crecimiento y perfilado fitoquímico mediante cromatografía.</b> Constanza Serrani., Andrea Escalante., Diego Müller., Paula Battocchio., Antonella Febbranti., Pablo Garcia Gimenez., Hector Busilacchi., Ricardo L.E. Furlan., Agustina Fernandez Di Pardo., Ignacio Cabezudo. | VREC-46 | 131 |
| <b>Valorización de eritritol con catalizadores de Ru soportados en TiO<sub>2</sub>.</b> Emanuel M. Virgilio, Cristina L. Padro, María E. Sad.                                                                                                                                                                                                | VREC-48 | 133 |
| <b>Pirólisis de residuos lignocelulósicos: comparación entre bagazo de malta</b>                                                                                                                                                                                                                                                             | VREC-49 | 135 |





|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----|
| <b>cervecera, residuos de poda y biomasa leñosa.</b> María V. Toledo, Sofia Sampaolesi, Juan J. Musci, Ileana D. Lick, Monica L. Casella, Laura E. Briand.                                                                                                                                                                              |         |     |
| <b>Valorización de biomásas locales mediante celulasas derivadas de hongos nativos.</b> Sofia Sampaolesi, Carlos R. Llerena-Suster, Laura E. Briand, María V. Toledo.                                                                                                                                                                   | VREC-50 | 137 |
| <b>Estudio de la utilización de Eversa® Transform en la hidrólisis de aceite vegetal usado.</b> Paula S. Mateos, Agustín Ponzinibbio, Laura E. Briand.                                                                                                                                                                                  | VREC-51 | 139 |
| <b>Desarrollo de materiales adsorbentes a partir de biomasa residual olivícola para la eliminación de arsénico.</b> Angélica C. Heredia., Evelin L. Savarino., L. Catalina Cabana Saavedra., Nancy F. Bálsamo.                                                                                                                          | VREC-52 | 141 |
| <b>Efecto de la modificación de zeolitas tipo MFI en el desempeño de catalizadores Ru-Re para la hidrogenólisis de glicerol.</b> Ludmila Chorvat., Maria Eugenia Sad., Cristina Padro.                                                                                                                                                  | VREC-53 | 143 |
| <b>Bio-nanoinhibidores de Corrosión para Pozos Inyectores: Valorización de Polifenoles Extraídos de Pulpa de Café.</b> Juan D.Quintero, Yurany Villada, Karol Zapata, Esteban A. Taborda, Camilo A. Franco, Farid B. Cortés.                                                                                                            | VREC-55 | 145 |
| <b>Electrorreducción de CO<sub>2</sub> a hidrocarburos C<sub>2</sub>+ sobre catalizadores Ni/CeO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub>: una vía de valorización hacia combustibles sostenibles.</b> Yassine Gorine, Lilian D. Ramírez Valencia, Abdelhakim Elmouwahidi, Agustín F. Pérez Cadenas, Francisco Carrasco Marín, Esther Bailón García. | VREC-56 | 147 |
| <b>Electrodialisis y métodos analíticos de avanzada aplicados a la remediación de recursos hídricos contaminados con glifosato.</b> Luisina D. Demonte, María R. Repetti, Laura B. Gutierrez, Julián M. Schmidhalter, Laura M. Cornaglia, María L. Bosko.                                                                               | VREC-57 | 149 |
| <b>Evaluación de toxicidad aguda de los sedimentos generados en el tratamiento de agua potable mediante ensayos de germinación en semillas de lechuga (Lactuca Sativa L.).</b> Eliana Llano Cardona, Mariana Orozco Alzate, Rodolfo Mira Betancur.                                                                                      | VREC-58 | 151 |
| <b>Valorización Sostenible de Cáscara de Soja: Levoglucosenona como Plataforma Bioactiva Identificada por CCD-Bioautografía.</b> Beatriz Pava-Gómez, Mario Salazar, Ariel Sarotti, Alejandra Suárez, Ricardo Furlan, Rolando Spanevello.                                                                                                | VREC-59 | 153 |
| <b>De Cáscara de Soja a Derivados de Levoglucosenona que Contienen Selenio: Síntesis y Evaluación como Inhibidores de Ureasa.</b> Beatriz Pava-Gómez, Mario Salazar, Ariel Sarotti, Adrián Heredia, Juan Argüello, Rolando Spanevello, Ricardo Furlan.                                                                                  | VREC-60 | 155 |
| <b>Valorización de residuos de baterías de ion-litio para el desarrollo de catalizadores de cobalto activos en la reacción WGS.</b> Erasmo Arriola-Villaseñor, Santiago Bedoya Betancur, Alba N. Ardila A., Luz Marina Ocampo Carmona.                                                                                                  | VREC-61 | 157 |
| <b>Evaluación de las propiedades electroquímicas del biochar en la producción de metano mediante digestión anaeróbica utilizando voltamperometría cíclica.</b> Valeria Zuleta Narvaez, José Daniel García Jiménez, Juan Diego Otálora Coronado, Mariana Bustamante-Durango, Iván Luis Calderon, Andrés Felipe Gómez, Juan C. Maya.      | VREC-62 | 159 |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                              |         |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----|
| <b>Evaluación de métodos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos reportados para la valorización de residuos de baterías de litio.</b> Andres Hernandez Garcia, Andres Cabrera Orozco.                                                                                                          | VREC-63 | 161 |
| <b>Adsorción de naranja de metilo en soluciones acuosas mediante carbones activos obtenidos a partir de los residuos de sachá inchi.</b> David Hernández, Helena García-Rosero, Nelson O. Briceño Gamba.                                                                                     | VREC-64 | 163 |
| <b>Fotocatalizadores de ZnO modificados con puntos cuánticos de carbono derivados de cascarilla de café para la degradación de cafeína.</b> Valentina Ospina, Nancy Acelas, Angélica Forgionny.                                                                                              | VREC-65 | 165 |
| <b>Influencia del contenido de zinc en el desempeño de ánodos ZnO-ZnS/carbón activado en celdas de combustible microfluídicas alimentadas con alcohol.</b> Marta Mediavilla, Andrés Dector, Juan M. Olivares-Ramírez, Diana M. Amaya-Cruz, Aída Luz Villa.                                   | VREC-66 | 167 |
| <b>Análisis del fraguado de pastas de cemento elaboradas con cenizas de semilla de aguacate.</b> Yuseth Paola Ibarguen Ordoñez, Ana María Zapata Navarro, Marisol Torres Alvarez, María Isabel Mejía Correa.                                                                                 | VREC-67 | 169 |
| <b>Producción de celulosa y carbón activado a partir de residuos del procesamiento del aceite de palma y su aplicación en la remoción de contaminantes en agua.</b> Marta Mediavilla, Luis Fernando Valenciar, Ainhoa Rubio-Clemente, Aida Luz Villa.                                        | VREC-68 | 171 |
| <b>Influencia del tratamiento alcalino en las propiedades físicas de biomateriales obtenidos a partir de pulpa de papel reciclado.</b> Andrea Carolina Pizarro Romero, Valery Lozano Beltrán, Valentina Márquez Quintero, María Isabel. Mejía Correa.                                        | VREC-69 | 173 |
| <b>Valorización de residuos agroindustriales de caña de azúcar para la remoción de contaminantes farmacéuticos en matrices acuosas.</b> Tatiana Murillo, Johwan Paniagua-Macías, Angélica Forgionny, Nancy Acelas.                                                                           | VREC-70 | 175 |
| <b>Obtención de biopolímeros a partir de cáscara de huevo y almidón de yuca.</b> Julián Carmona Madrigal, Lina Corrales González, Juan Diego Marín Madrigal, Martín Hurtado Campos, María Isabel Mejía Correa, Ximena Gaviria Gómez.                                                         | VREC-71 | 177 |
| <b>Valorización de cáscara de arroz mediante el desarrollo de biomateriales fúngicos.</b> Paula Sacripanti Olalla, Guillermo García Efron, Matías Sebastián Cabeza.                                                                                                                          | VREC-72 | 179 |
| <b>Evaluación del efecto de los microplásticos en la remoción de fosfatos con Ca-biocomposites de origen agroindustrial.</b> Emilio Arcila Hock, Sebastián Álvarez, Valentina Ospina, Nancy Acelas y Angélica Forgionny.                                                                     | VREC-73 | 181 |
| <b>Influencia de la adición de fibras de celulosa de pseudotallo de banano en las propiedades físicas, mecánicas y ópticas de hojas de mano.</b> Alba N. Ardila A., Maria Camila Moreno, Erasmo Arriola-Villaseñor, Efraín Villegas González, Eduart A. Gutiérrez Pineda, Cristian C. Villa. | VREC-74 | 183 |
| <b>Aprovechamiento de subproductos poliméricos y metálicos de llantas fuera de uso (NFU) para la síntesis de catalizadores heterogéneos basados en hierro.</b> Eliana Berrio                                                                                                                 | VREC-75 | 185 |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |         |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----|
| Mesa, Alba Nelly Ardila Arias, Erasmo Arriola-Villaseñor, Luz Marina Ocampo.                                                                                                                                                                                                                                                                 |         |     |
| <b>Caracterización de mazorca de cacao cultivado en Támesis (Antioquia) y extracción de sus compuestos bioactivos.</b> Diana Cristina Rodríguez Legarda, Aída Luz Villa Holguín.                                                                                                                                                             | VREC-76 | 187 |
| <b>Valoración del raquis de plátano para la obtención de materiales carbonosos: efecto de la lixiviación ácida.</b> Juliana Hermosa Vélez, Maurin Salamanca, Elizabeth Pabón.                                                                                                                                                                | VREC-77 | 189 |
| <b>Desempeño de Saccharomyces cerevisiae inmovilizada en biochar para la remoción de contaminantes emergentes.</b> Isabela Puerta, Sebastián Pérez, Angélica Forgionny, Nancy Acelas.                                                                                                                                                        | VREC-78 | 191 |
| <b>Análisis de ciclo de vida del proceso de transformación de neumáticos en una empresa dedicada a su aprovechamiento.</b> María Camila Quintero Quintana, Bernabé Alonso Fariñas, Alba Nelly Ardila Arias.                                                                                                                                  | VREC-79 | 193 |
| <b>La Pulpa de Café: Un Recurso Energético de Gran Potencial.</b> María Isabel Cuartas Soto, Antonio Galvis Escobar, Edith Marleny Cadena Chamorro, Fabio Alexander Suárez Bustamante                                                                                                                                                        | VREC-80 | 195 |
| <b>Tratamiento químico de lixiviados de RSU: aplicación del proceso foto-Fenton en efluentes reales.</b> Pablo A. Ochoa Rodríguez, Griselda A. Eimer, Tamara B. Benzaquén                                                                                                                                                                    | VREC-81 | 197 |
| <b>Efecto de la adición de biomasa residual de tusa de maíz sobre la capacidad de secuestro de CO<sub>2</sub> y la resistencia del cemento.</b> Katheryn Jaramillo, Junior Mosquera, Sebastián Pérez, Gabriela Montoya, Lina María Chica, Natalia Suarez, Nancy Acelas, Angélica Forgionny.                                                  | VREC-82 | 199 |
| <b>Valorización hidrotermal de residuos de aguacate para la obtención de extractos fenólicos con potencial antioxidante.</b> B. Esquivel-Elisalde., C.S. Martínez-Sánchez., S. Sabino-Sánchez., I.S. Sanluis-Altamirano., M.E. García-Pérez., C.E. Santolalla-Vargas., G. Contreras-Zarazúa., J.A. de los Reyes., V.A. Suárez-Toriello.      | VREC-83 | 201 |
| <b>Estrategia multidisciplinaria para el estudio de la transición energética del transporte en la provincia de Santa Fe, Argentina.</b> Patricia Acetta, Carlos Alesso, Noelia Rossler, Guillermo Toffoli, Juan Zelín, Camilo Meyer, Francisco Martínez, Darío Segobia, Cristián Ferretti, Horacio Aguerre, Norberto Nigro, Nicolás Bertero. | VREC-84 | 203 |
| <b>Valorización de baterías ion - litio gastadas para la preparación de catalizadores y su aplicación en la oxidación selectiva de alcohol bencílico.</b> Santiago A. Bedoya B, Erasmo Arriola-Villaseñor, Alba N. Ardila A, Luz M. Ocampo.                                                                                                  | VREC-85 | 205 |
| <b>Biochar de sargazo funcionalizado con óxidos metálicos: valorización como bioestimulante vegetal y economía circular.</b> Santiago Cepeda Camarillo, Carolina Hernández Navarro, Juan Gabriel Ramírez Pimentel, Jhon Sebastián Pérez Bedoya, Juan Muñoz Saldaña, Anareli Quintero Jiménez, Francisco Javier Cervantes Vallejo.            | VREC-86 | 207 |
| <b>Fabricación y evaluación de hojitas de mano con incorporación de fibras celulósicas derivadas de residuos de banano.</b> Alba N. Ardila A., María Cristina Inalbon, Paulina Mocchiutti, Maria Camila Moreno, Erasmo Arriola-Villaseñor, Eduart A. Gutiérrez Pineda,                                                                       | VREC-87 | 209 |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |         |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----|
| Cristian C. Villa.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |         |     |
| <b>Estudio de la pirólisis térmica y catalítica de polipropileno.</b> García, Florencia.                                                                                                                                                                                                                                                                 | VREC-88 | 211 |
| <b>Efecto de la adición de biochar en el rendimiento de metano en la digestión anaeróbica para mejorar las condiciones del proceso.</b> Juan Diego Otálora Coronado, Arley David Zapata, Mariana Bustamante Durango, Iván Luis Calderón, Andrés Felipe Gómez, Juan C. Maya.                                                                              | VREC-89 | 213 |
| <b>Biochar como alternativa del carbón activado en la embriogénesis somática de aguacate (<i>Persea americana</i> Mill. cv. Hass).</b> Eduardo Antonio Cofradía Puerta, Juan Gabriel Ramírez Pimentel, Anareli Quintero Jimenez, Jhon Sebastián Pérez Bedoya, Carolina Hernández Navarro, Nancy Acelas Soto, Juan Muñoz Saldaña, Luis Mario Tapia Vargas | VREC-90 | 215 |
| <b>Potencial de los residuos agrícolas colombianos como materia prima sostenible para la producción de biomateriales y su papel en estrategias de bioeconomía circular.</b> Claudia Patricia Tavera-Ruiz, Mónica Viviana Sandoval Rincón, Anastacio Rafael Serrano Zambrano.                                                                             | VREC-91 | 217 |
| <b>Extractos químicamente reciclados como fuente de inhibidores de lacasa.</b> Camila Agustini, Virginia Parés, Ignacio Cabezudo, Ricardo Furlan, I. Ayelen Ramallo                                                                                                                                                                                      | VREC-92 | 219 |
| <b>Del residuo a la remediación: biocarbón y carbón activado de cáscara de cacao para la adsorción de glifosato.</b> Karen Bibiana Quiroga Salinas, María José Martínez Cordón, Yazmin Yaneth Agámez Pertuz                                                                                                                                              | VREC-93 | 221 |
| <b>Valorización de neumáticos fuera de uso como fuente de materiales carbonosos aplicados en procesos de carbocatálisis para la degradación de acetaminofén en aguas residuales.</b> Juan David Valencia, John Edison Mesa, Laura Vanessa Castañeda, Alba Nelly Ardila.                                                                                  | VREC-94 | 223 |
| <b>Remoción de ibuprofeno mediante materiales compuestos carbón/ZnO obtenidos a partir de residuos industriales.</b> Maria Paula Echeverría Echeverría, Manuela Lara Vásquez, Leidy Astrid Hoyos Giraldo, Alba Nelly Ardila Arias.                                                                                                                       | VREC-95 | 225 |
| <b>Aprovechamiento de residuos de aguacate para el desarrollo de adsorbentes carbonosos orientados a la remoción de azitromicina y diclofenaco en agua.</b> Alba Nelly Ardila Arias, Salomé Gonzalez Ramirez, Leidy Astrid Hoyos Giraldo, Ximena Lujan Aguilar, Sergio Valencia Hurtado.                                                                 | VREC-96 | 227 |
| <b>Evaluación de la potencialidad de diferentes fuentes de biomasa residual de banano para la obtención de biochar.</b> Efraín Villegas González , Alba N. Ardila A., Rolando Barrera Zapata                                                                                                                                                             | VREC-97 | 229 |
| <b>Óxidos de manganeso obtenidos de baterías recicladas en la degradación fotocatalítica de colorante azul 21.</b> Alba N. Ardila A, Misael Cordoba Arroyo, Joseph Murillo, Melissa Arango Álvarez, Erasmo Arriola-Villaseñor.                                                                                                                           | VREC-98 | 231 |
| <b>Solventes eutécticos profundos para el reciclaje sostenible de baterías de ion litio:</b>                                                                                                                                                                                                                                                             | VREC-99 | 233 |





|                                                                                                                                                                                                                                                                                          |          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|
| <b>tendencias, avances y desafíos desde un enfoque cuantitativo.</b> Luisa Marcela Castillo Chica, Luz Marina Ocampo Carmona.                                                                                                                                                            |          |     |
| <b>Analysis of Trends in Synthesis of Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) Nanoparticles using deep eutectic solvent and circular economy advances: A Scientometric Review.</b> Gina Realpe Cuaran y Luz Marina Ocampo Carmona.                                                       | VREC-100 | 235 |
| <b>CATÁLISIS AMBIENTAL Y REMEDIACIÓN DE CONTAMINANTES - CARC</b>                                                                                                                                                                                                                         |          | 237 |
| <b>Valorización de cáscaras de semilla de girasol para la obtención de un carbón activado con capacidades adsorbentes y carbocatalíticas para la remoción y degradación de contaminantes acuosos.</b> Victor A. Castaño-Rodríguez, Luis R. Pizzio, Julián A. Rengifo-Herrera.            | CARC-01  | 238 |
| <b>Efecto del ácido cítrico en la lixiviación y estabilidad de catalizadores de cobre en la oxidación catalítica de fenol con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.</b> Nicolás Sacco, Victoria Salinas, Constanza Pierantoni, Fernanda Miranda Zoppas, Emerson Burna, Fernanda Albana Marchesini. | CARC-02  | 240 |
| <b>Nanocatalizadores híbridos quitosano-hidroxiapatita con nanopartículas de plata para la reducción eficiente de contaminantes orgánicos en agua.</b> Sofia Huggias, Soledad Belluzo, Mónica Casella.                                                                                   | CARC-03  | 242 |
| <b>Influencia de la carga de catalizador en la degradación fotocatalítica de 2-clorofenol empleando óxidos mesoporosos de Fe y Fe/Co.</b> Emiliano G. Fornasin, Natalia I. Cuello, Pablo A. Ochoa Rodríguez, Griselda A. Eimer, Verónica R. Elías.                                       | CARC-04  | 244 |
| <b>Desempeño de Ag/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> en la reducción de nitrofenoles en fase acuosa.</b> Bettina M. Sosa, Cristián A. Ferretti, Santiago E. Vaillard.                                                                                                                         | CARC-05  | 246 |
| <b>Catalizadores de NiO sobre soportes mixtos para la valorización de etano mediante deshidrogenación oxidativa.</b> Esmeralda Lopez Bottai, Paula Brussino, Juan Pablo Bortolozzi.                                                                                                      | CARC-06  | 248 |
| <b>Estudio de catalizadores de Cu soportados sobre arcilla para la remoción de contaminantes fenólicos en agua.</b> Natalia L. Courtalón, Paula Brussino, Ezequiel D. Banús, Juan P. Bortolozzi.                                                                                         | CARC-07  | 250 |
| <b>Desarrollo de una cascada quimio-enzimática impulsada por luz visible para remoción de materia orgánica en aguas.</b> Fabrizio Viale, Adrián Heredia, Tamara Benzaquén, Verónica Elías, Griselda Eimer, Gabriel Ferrero.                                                              | CARC-08  | 252 |
| <b>Influencia del tratamiento alcalino en la actividad catalítica de un material derivado de diatomitas residuales para la degradación tipo-Fenton de contaminantes emergentes.</b> Romina Di Iorio, Lucía Ferraro, Mayra Bonald, Natalia Inchaurredo, Laura Fasce.                      | CARC-10  | 254 |
| <b>Catalizadores Co-Ce soportados sobre monolitos de mallas metálicas para el control de emisiones diésel: efecto de la carga catalítica en la oxidación de hollín y CO.</b> María Laura Godoy, Viviana G. Milt, Eduardo E. Miró, Ezequiel D. Banús.                                     | CARC-11  | 256 |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----|
| <b>Óxidos mixtos de Cu-Zn-Mg-Al para la transesterificación de glicerol: relación estructura-basicidad y desactivación controlada por la temperatura de calcinación.</b> Dalma S. Argüello, Nancy F. Bálsamo, Griselda A. Eimer, Mónica E. Crivello.                                                                | CARC-12 | 258 |
| <b>Reducción catalítica de nitrito en fase acuosa empleando catalizadores Ni-In/SiO<sub>2</sub> y ácido fórmico como agente reductor.</b> Fernanda Miranda Zoppas, Jose Sureda, Emiliano Mendicino, Vanina Aghemo, Nicolas Sacco, Fernanda Albana Marchesini.                                                       | CARC-13 | 260 |
| <b>Degradación fotocatalítica del colorante azoico naranja de metilo mediante hierro soportado en zeolita LTA, residuo de un proceso industrial.</b> Edward Peraza, Gaston Bianco, Georgina Ortenzi, Candelaria Leal Marchena.                                                                                      | CARC-14 | 262 |
| <b>Síntesis solvotermal y evaluación catalítica de perovskitas Ca-Fe para la producción de biodiésel.</b> Chrystofer Ronney Samaniego Yambay, María Lorena Malagón Quinto, Hilda Elizabeth Reynel Ávila.                                                                                                            | CARC-15 | 264 |
| <b>Degradación de Naranja II catalizada por Cu(5%)/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en medio básico: efecto de variables de reacción.</b> Ignacio O. Costilla, Ana J. Ávila, María L. Ferreira, Gabriela M. Tonetto.                                                                                                     | CARC-16 | 266 |
| <b>Tratamiento de lixiviados de residuos sólidos urbanos mediante coagulación como pretratamiento para un proceso foto-Fenton.</b> Nahuel Rodriguez Minuet, Griselda A. Eimer, Tamara B. Benzaquén.                                                                                                                 | CARC-17 | 268 |
| <b>Integración de catálisis enzimática y heterogénea en la obtención de surfactantes derivados de aminoácidos con actividad antimicrobiana.</b> Patricia Grillo, Virginia Vetere, M. Elisa Fait, Melisa Hermet, Sergio Laurella y Susana R. Morcelle.                                                               | CARC-18 | 270 |
| <b>Influence of Ni incorporation into La<sub>0.8</sub>Sr<sub>0.1</sub>Fe<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>O<sub>3-δ</sub> non-stoichiometric perovskite catalysts in Chemical Looping Dry Reforming of simulated Biogas for the production of high-value syngas.</b> Carlos Méndez-A, Oscar Medina, Alexander Santamaría. | CARC-19 | 272 |
| <b>Activación por reducción térmica de un catalizador obtenido a partir de arcilla roja natural y aplicación en reacción Fenton heterogénea.</b> Débora Belén Tagua, Jorge Alberto González, Bibiana Patricia Barbero.                                                                                              | CARC-20 | 274 |
| <b>Películas nanoestructuradas de óxidos de hierro sobre lana de acero: aplicación en microrreactores para la reacción de oxidación de CO.</b> Mayra Alejandra Franco Murcia, María Alicia Ulla, Juan Manuel Zamaro.                                                                                                | CARC-21 | 276 |
| <b>Biocarbón poroso útil como soporte de óxido de zinc modificado con hierro en la foto-mitigación de paracetamol.</b> Sergio Garzón, Luis C. Moreno, Eduard Romero-Malagón, Yazmin Agámez-Pertuz.                                                                                                                  | CARC-22 | 278 |
| <b>Catalizadores de ZnO derivados de baterías recicladas empleados en la valorización de glicerol.</b> Misael Cordoba Arroyo, Madelain Linero Diaz, Manuela Cardenas, Erasmo Arriola- Villaseñor, Pedro Delvasto, Alba N. Ardila A.                                                                                 | CARC-23 | 280 |
| <b>Óxidos de manganeso derivados de baterías recicladas como materiales activos en</b>                                                                                                                                                                                                                              | CARC-24 | 282 |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |         |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----|
| <b>la degradación fotocatalítica de colorantes.</b> Alba N. Ardila A., Melissa Arango Álvarez, Erasmo Arriola V., Santiago Bedoya Betancur, Misael Cordoba Arroyo, Pedro Luis Delvasto Angarita.                                                                                                 |         |     |
| <b>Valorización de residuos de topinambur (<i>Helianthus tuberosus</i>) para el tratamiento sostenible de aguas contaminadas con pesticidas.</b> Eugenia Peralta, María del Valle Ponce, María Cecilia Ávila, María Lucia Ruiz.                                                                  | CARC-25 | 284 |
| <b>Síntesis y evaluación fotocatalítica de ZnO para la degradación de contaminantes emergentes.</b> Camila Lluia Torres Pons, Paola María Carraro, Griselda Alejandra Eimer y Tamara Belén Benzaquen.                                                                                            | CARC-26 | 286 |
| <b>De residuo a catalizador: biocarbones modificados con Cu para la degradación reductiva de colorantes azoicos.</b> Dainy Marcos, Federico Belén, Marcelo F. Pistonesi, Angel J. Satti y Mariana Alvarez.                                                                                       | CARC-27 | 288 |
| <b>Biochar de cáscara de cacao dopado con nitrógeno de orina para la activación de peroximonosulfato en la degradación de acetaminofén.</b> Víctor Galindo Acosta, Alba Ardila Arias, Efraim Serna Galvis, Ricardo Torres Palma.                                                                 | CARC-28 | 290 |
| <b>Hidratación de limoneno para la obtención de <math>\alpha</math>- terpineol usando catalizadores soportados en carbón activado obtenidos de cáscaras de mazorca de cacao.</b> Ana María Rodríguez López, Marta Mediavilla, Aída Luz Villa.                                                    | CARC-29 | 292 |
| <b>Diseño y caracterización de biocarbones a partir de residuos de poda urbana: Influencia de la temperatura de pirólisis y la activación con <math>H_3PO_4</math>.</b> Lisette Aime Ramirez, Mariana Alvarez, Victoria Soledad Gutierrez.                                                       | CARC-30 | 294 |
| <b>Degradación foto-catalítica de 2-clorofenol empleando materiales nano-estructurados con hierro activados con radiación visible.</b> Pablo A. Ochoa Rodríguez a *, Eliana G. Vaschetto, Griselda A. Eimer, Verónica R. Elías.                                                                  | CARC-31 | 296 |
| <b>Diseño de fotocatalizadores de <math>TiO_2</math> libres de metales nobles: sinergia entre polimorfo de alta presión y estados electrónicos intra band gap.</b> Mufari, A., Capelupi, T., Saleta M. E., Zelaya, E., Furlong O., Zanoni, M. V. B., Cadús L., Brito, J. F. and Larrégola, S. A. | CARC-32 | 298 |
| <b>Síntesis y caracterización de nanofibras de PAN/<math>TiO_2</math> para la fotodegradación de contaminantes atmosféricos.</b> Martinez Yanet Maribel, Benzaquén Tamara Belén, Blanco María Belén.                                                                                             | CARC-33 | 300 |
| <b>Gránulos de llanta activos para la degradación de colorante azul mediante carbocatálisis.</b> Alba N. Ardila A., Luis Alfredo Ruiz, Madelyn Ortiz, Erasmo Arriola-Villaseñor, Víctor Manuel Galindo.                                                                                          | CARC-34 | 302 |
| <b>Microrremediación de colillas de cigarrillos mediante el uso de hongos comestibles y/o medicinales.</b> Melina G. Di Liberto, Maximiliano Sortino, Estefanía Butassi.                                                                                                                         | CARC-35 | 304 |
| <b>Valorización de residuos mineros mediante la transformación in situ de <math>\alpha</math>-<math>Bi_2O_3</math> en <math>BiOCl</math> para la eliminación de rodamina B.</b> Carolina Lopera, Sebastián Pérez, Nancy                                                                          | CARC-36 | 306 |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                              |         |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----|
| Acelas, Angélica Forgianny.                                                                                                                                                                                                                                                                  |         |     |
| <b>Actividad fotocatalítica en el sistema Bi2O3–TiO2: influencia de la composición y el tratamiento térmico.</b> Sebastián Pérez, Anyi Ramiez, Angélica Forgianny, Nancy Acelas, Juan Muñoz Saldaña.                                                                                         | CARC-37 | 308 |
| <b>Balanceando actividad y estabilidad en catalizadores Cu–Ni soportados: influencia de los parámetros de síntesis y las propiedades redox sobre la actividad y la lixiviación de Cu en POAs.</b> Emerson Burna, Narella Pescatore, Erika Dettler, Alejandra Devard, Albana Marchesini.      | CARC-38 | 310 |
| <b>Modelamiento de catalizadores con átomos de metales de transición altamente dispersos (SACs) en soportes carbonosos dopados con N para la reacción de hidrodesoxigenación del guaiacol.</b> Jhon Alberto Agudelo Vélez, Alejandro Montoya, Ruben Albereto Palacio Olarte.                 | CARC-39 | 312 |
| <b>TECNOLOGÍAS EMERGENTES PARA ENERGÍAS RENOVABLES - TEER</b>                                                                                                                                                                                                                                |         | 314 |
| <b>Impacto de la configuración de flujo sobre el desempeño de un reactor de membrana para el craqueo de amoníaco.</b> Corchete, Maricel., Izurieta, Eduardo M., Adrover, María E.                                                                                                            | TEER-01 | 315 |
| <b>Obtención de biocombustibles valéricos diésel sobre catalizadores de Pt/SiO<sub>2</sub> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con baja carga metálica.</b> Francisco Martínez, M. Julia Vecchiatti, Cristián Ferretti, Darío Segobia, Nicolás Bertero.                                            | TEER-02 | 317 |
| <b>Diseño de catalizadores para minimizar la formación de carbón en la producción de H<sub>2</sub> mediante reformado de etanol con vapor.</b> Marcela Jaramillo-Baquero, John Múnera, Laura Cornaglia.                                                                                      | TEER-03 | 319 |
| <b>Optimización de electrocatalizadores anódicos de PtRe mediante el uso de soportes carbonosos derivados de biomasa funcionalizados para celdas de combustible de etanol directo.</b> María Florencia Azcoaga Chort, Virginia I. Rodríguez, Natalia S. Veizaga.                             | TEER-04 | 321 |
| <b>Empleo de un catalizador anfílico en la producción de precursores de SAF a partir de derivados biomasa lignocelulósica.</b> Juan Manuel Gimenez, Lucas Gabriel Tonutti, Claudia Neyertz, Cristian Ferretti, Carlos Querini, María Soledad Zanuttini.                                      | TEER-05 | 323 |
| <b>Uso de Co/SiO<sub>2</sub> para la producción de aditivo combustible 2- metilfurano a partir de furfural derivado de biomasa en fase líquida.</b> Juan Manuel Gimenez, Nicolas Bertero, Claudia Neyertz, Cristian Ferretti, Carlos Querini, María Soledad Zanuttini.                       | TEER-06 | 325 |
| <b>Catalizadores basados en Ni para el aprovechamiento de energía renovable a partir de la descomposición de NH<sub>3</sub>.</b> Maria A. Chaves., Ana M. Tarditi, John F. Múnera Agudelo.                                                                                                   | TEER-07 | 327 |
| <b>Valorización energética de pasivos ambientales petroleros: Evaluación de un sistema electroquímico dual para la obtención de hidrógeno y tratamiento de aguas de producción.</b> Ever Herrera-Ríos, Karol Zapata Acosta, Martha Liliana Chacón Patiño, Camilo A. Franco, Farid B. Cortés. | TEER-08 | 329 |





|                                                                                                                                                                                                                                                                      |         |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----|
| <b>Estudios in situ DRIFT y NAP-XPS de la reacción de desplazamiento del gas de agua empleando un catalizador basado en Ni/ZSM-5 obtenido por incorporación directa.</b> Ordoñez Ramos Fredy., Santa-Arango, A., Ostos Carlos., Múnera F. John., Tarditi M. Ana.     | TEER-09 | 331 |
| <b>Modificación ultrarrápida de espumas de níquel con materiales mixtos de Ni-Fe-Co para OER en electrólisis alcalina.</b> Danna Salinas., Jorge Gómez., Eduard Romero-Malagón., Yazmin Agámez-Pertuz.                                                               | TEER-10 | 333 |
| <b>Estación Meteorológica de Bajo Costo para Caracterización Local del Aire y Aprovechamiento Eficiente de Energías Renovables.</b> Juan Manuel Henao Medina, Maria Alejandra Quiroga Cantor, Liliam Cristina Agudelo Morimitsu, Fabio Alexander Suárez Bustamante.  | TEER-11 | 335 |
| <b>Influencia de la relación Ti/Zr en catalizadores Ni/TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> para la hidrodesoxigenación selectiva de 5-(hidroximetil)furfural.</b> M.A. Cortés-Jiménez., C. García-Mendoza., R. Rios-Escobedo., J.A. de los Reyes., V.A. Suárez-Toriello. | TEER-12 | 337 |
| <b>Influencia de Ca y La en catalizadores Ni-Co/<math>\gamma</math>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para la producción de H<sub>2</sub> por reformado en fase acuosa de glucosa.</b> Hugo J. Alessio, Raúl A. Comelli, Javier M. Grau.                                   | TEER-13 | 340 |
| <b>Reformado catalítico de corrientes de gasificación de biomasa: estudios DRIFTS in situ y evaluación a escala banco.</b> Misael Cordoba Arroyo, Lina Garcia, Liza Dosso, Carlos R. Vera, Juan Badano, Mariana Busto.                                               | TEER-14 | 342 |
| <b>MATERIALES FUNCIONALES Y NANOTECNOLOGÍA APLICADA - MFNA</b>                                                                                                                                                                                                       |         | 344 |
| <b>Desarrollo de recubrimientos cerámicos sobre acero inoxidable como potenciales membranas inorgánicas para separación de CO<sub>2</sub> a alta temperatura.</b> Mariana Álvarez-Gómez, John Múnera, Ana M.Tarditi.                                                 | MFNA-02 | 345 |
| <b>Síntesis y caracterización de geopolímeros híbridos a base de aluminosilicatos naturales.</b> Ingrid Y. Medina Mojica, Ruth D. Mojica, Luis J. Mendoza, Leopoldo Garavaglia, Mercedes Muñoz, Myrian Tebaldi.                                                      | MFNA-03 | 347 |
| <b>Desarrollo de catalizadores mesoporosos renovables para la remoción de colorantes mediante procesos avanzados de oxidación.</b> Sergio Tomas Farias Padilla, Eliana Pecini, Maximiliano Brigante, Verónica Rita Elías, Eliana Gabriela Vaschetto.                 | MFNA-04 | 349 |
| <b>Evaluación del desempeño en biocatálisis de sílicas mesoporosas renovables modificadas con Ca para la producción de saborizantes.</b> Germán Carrillo, Eliana Gabriela Vaschetto, Gabriel Orlando Ferrero, Griselda Alejandra Eimer.                              | MFNA-05 | 351 |
| <b>ZnO sobre un material composite como catalizador altamente selectivo de reacciones de hidrogenación de alquinos.</b> Isabel Agudelo, Luis Fernando Valencia, Carolina Betti, Juan Badano, Aída Luz Villa, Cecilia Lederhos.                                       | MFNA-06 | 353 |
| <b>Estudio de parámetros de la técnica de deposición de capa atómica (ALD) para la síntesis de catalizadores de NiO soportado en alúmina.</b> Esmeralda Lopez Bottai,                                                                                                | MFNA-07 | 355 |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |         |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----|
| Viviana G. Milt, Juan P. Bortolozzi, Paula Brussino.                                                                                                                                                                                                                                                   |         |     |
| <b>Desarrollo de pastas cerámicas para impresión 3D de sustratos catalíticos de cordierita.</b> Natalia L. Courtalón, Ezequiel D. Banús, Juan P. Bortolozzi, Franco M. Stabile, Nicolás M. Rendtorff.                                                                                                  | MFNA-08 | 357 |
| <b>Bionanofluidos basados en enzimas de semillas de melón (<i>cucumis melo</i>) y girasol (<i>Helianthus annuus</i>) funcionalizadas con nanopartículas para procesos de recuperación mejorada de petróleo (EOR).</b> Karol Zapata, Frank Viveros, Esteban Taborda, Camilo A. Franco, Farid B. Cortes. | MFNA-09 | 359 |
| <b>Efecto del precursor en la impregnación de nanohebras de alúmina con cobre para la oxidación catalítica de 2-furaldehído.</b> Georgina Ortenzi, Gaston Bianco, Edward Peraza, Candelaria Leal Marchena.                                                                                             | MFNA-10 | 361 |
| <b>Silíceas ácidas mesoporosas sintetizadas a partir de precursores renovables aplicadas en la reacción de condensación de Knoevenagel.</b> Marina Belén Palacios., Eliana Gabriela Vaschetto., Ruben, Mutal., Ángel G. Sathicq., Gustavo Romanelli., Paola María Carraro., Griselda Alejandra Eimer.  | MFNA-11 | 363 |
| <b>Desarrollo de aditivos antioxidantes para biodiésel a partir de materiales metálicos obtenidos por síntesis verde.</b> María José Moncada Cardona, Hilda Elizabeth Reynel Ávila, Lizbeth Liliana Díaz Muñoz, Felipe de Jesús Villalobos Delgado.                                                    | MFNA-12 | 365 |
| <b>Efecto del zirconio en la estructura y propiedades de catalizadores Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.</b> Naranjo Juan A., Cañete Benjamín, Pedernera Marisa, Tonetto Gabriela.                                                                                                                   | MFNA-13 | 368 |
| <b>Síntesis de silicatos de litio empleando diferentes ácidos orgánicos para su uso en la captura de CO<sub>2</sub> a altas temperaturas.</b> Carlos F. Imbach-Gamba, Lucas Bojorque, Laura Cornaglia, Betina Faroldi.                                                                                 | MFNA-14 | 370 |
| <b>Proceso integrado para la valorización de residuos del cultivo de tilapia plateada (<i>Oreochromis niloticus</i>) en la síntesis de un biomaterial para ingeniería de tejidos.</b> Kelly Marcela Triana Jiménez, Mario Enrique Velásquez Lozano.                                                    | MFNA-15 | 372 |
| <b>Development and Evaluation of Nanomaterials synthesized from Agro-waste for enhancement of CO<sub>2</sub> -reservoir fluids interactions: Implications for Carbon Geostorage and EOR Processes.</b> Lady J. Giraldo, Francisco Carrasco-Marin, Camilo A. Franco, Farid B. Cortés.                   | MFNA-16 | 374 |
| <b>Nanotubos de sílice funcionalizados con grupos -SO<sub>3</sub>H: efecto del método de síntesis.</b> Lourdes Vergara, Bárbara Sánchez, Gustavo Mendow.                                                                                                                                               | MFNA-17 | 376 |
| <b>Valorización de <math>\gamma</math>-valerolactona hacia ésteres valéricos mediante catalizadores bifuncionales basados en MCM-48.</b> Rocio Nicollier, Gustavo Mendow, Bárbara Sanchez, Hernán Decolatti.                                                                                           | MFNA-18 | 378 |
| <b>Impacto de diversas dosis de biochar en la velocidad de crecimiento inicial de <i>phaseolus vulgaris</i> l. cv. flor de junio.</b> Maricruz Roque-Aguirre, J. Gabriel Ramírez-                                                                                                                      | MFNA-19 | 380 |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |          |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|
| Pimentel, Carolina Hernández-Navarro, Jhon Sebastián Pérez Bedoya, Nancy Acelas Soto, Juan Muñoz Saldaña, J. Carlos Raya-Pérez.                                                                                                                                                                                                                                         |          |     |
| <b>Valorización de glicerol, subproducto del biodiésel, a solketal mediante microondas empleando catalizadores ácidos mesoporosos.</b> Paola M. Carraro, Marina Palacios, Verónica R. Elías, Griselda A. Eimer.                                                                                                                                                         | MFNA-20  | 382 |
| <b>Descontaminación eficiente de efluentes textiles usando una arcilla natural: evaluación de la adsorción.</b> Jenny Alejandra García Mora, María Cecilia Ávila, María Lucia Ruíz.                                                                                                                                                                                     | MFNA-21  | 384 |
| <b>HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS, MODELACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS - HAMOP</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                          |          | 386 |
| <b>De hojas de cálculo a redes neuronales: Experiencia sobre el uso de herramientas computacionales como estrategia de investigación formativa en sistemas de energías renovables.</b> Luis Octavio González-Salcedo. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira.                                                                                           | HAMOP-01 | 387 |
| <b>Influencia de la velocidad de agitación sobre la hidrodinámica y el contacto fluido-catalizador en un reactor de tanque agitado con impulsor de espuma cerámica mediante CFD.</b> Jesús A. Mizger Ortega, Inés S. Tiscornia, Soledad G. Aspromonte. Universidad Nacional del Litoral (UNL). Santa Fe, Argentina.                                                     | HAMOP-02 | 389 |
| <b>Estimación de la conductividad eléctrica de masas batidas libres de gluten.</b> Camila M. Bueno, Sandro M. Goñi. Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata, Argentina.                                                                                                                                                                                       | HAMOP-03 | 391 |
| <b>Estrategia biocatalítica para mejorar la eficiencia energética en la producción de panela.</b> Roberto Luis Izquierdo Richer, Diego Camilo Durán García, Mónica Viviana Sandoval Rincón. Universidad Nacional de Colombia Sede de La Paz, La Paz                                                                                                                     | HAMOP-04 | 393 |
| <b>Optimización de la extracción asistida por ultrasonido (UAE) de compuestos fenólicos en <i>Plectranthus amboinicus</i>: efecto de la temperatura de secado y la granulometría, con modelamiento cinético del secado.</b> Dayana Portillo Izquierdo, Diego Camilo Durán García, Diego Felipe Tirado Armesto. Universidad Nacional de Colombia Sede de La Paz, La Paz. | HAMOP-05 | 395 |
| <b>Hacia una industria ladrillera baja en carbono: un enfoque de ciclo de vida para identificar estrategias de descarbonización.</b> Luisa Fernanda Mosquera Idrobo, Dorian Prato García, Carolina Bedoya Muñoz, Janneth Torres Agredo. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.                                                                                  | HAMOP-06 | 397 |
| <b>INNOVACIÓN INDUSTRIAL, TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA Y SOSTENIBILIDAD TERRITORIAL - ITST</b>                                                                                                                                                                                                                                                                             |          | 399 |
| <b>Trazabilidad de Huellas Ambientales mediante IoT-Nube: Normalización de Indicadores y Mitigación de Sesgos bajo Estándares ISO 14064 e ISO 14046.</b> Adriana María Flórez Laiseca, Paola Andrea Loaiza Trejos. Universidad del Quindío.                                                                                                                             | ITST-01  | 400 |
| <b>Influencia del soporte en la estabilidad y el comportamiento cinético de</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ITST-02  | 402 |



|                                                                                                                                                                                                                                                                |          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|
| <b>catalizadores RuSnB en la hidrogenación selectiva de oleato de metilo.</b> Maria Amparo Sanchez, Maria Ana Vicerich, Franco Nardi, Vanina Mazzieri. Universidad Nacional del Litoral (UNL). Santa Fe, Argentina.                                            |          |     |
| <b>EDUCACIÓN, PARTICIPACIÓN SOCIAL Y FORMACIÓN EN SOSTENIBILIDAD - EPSFS</b>                                                                                                                                                                                   |          | 404 |
| <b>Estrategias de Educación Ambiental para la Valorización de Aceites de Cocina Usados y Gestión de Residuos Plásticos en el Marco de la Economía Circular.</b> Silvana R. Matkovic, Carla José. Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata, Argentina. | EPSFS-02 | 405 |
| <b>Potencial de implementación de biodigestores anaerobios para el abastecimiento de biogás en el resguardo nazareth del municipio de Leticia Amazonas.</b> Nicolas Muñoz Urrego, Arturo Gómez Insuasti. Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonia        | EPSFS-03 | 407 |







Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

## PRÓLOGO

La creciente complejidad de los desafíos ambientales contemporáneos demanda enfoques integrados que articulen la generación de conocimiento, el desarrollo tecnológico y su implementación en contextos reales. En este marco, el I Simposio Internacional en Valorización de Residuos (I SIVAR) y el V Simposio Internacional en Catálisis Ambiental y Energías Renovables (V SICAMER 2026) se consolidan como un espacio académico de referencia para la discusión, validación y proyección de avances científicos orientados a la sostenibilidad.

Las memorias que aquí se presentan reúnen cerca de 180 contribuciones en modalidades presencial y sincrónica, las cuales abordan, desde una perspectiva interdisciplinaria, problemáticas y soluciones asociadas a la valorización de residuos, la catálisis ambiental y las energías renovables. En su conjunto, estos trabajos evidencian el dinamismo de la investigación en estas áreas, así como su creciente orientación hacia la generación de impactos tecnológicos, ambientales y sociales en el marco de la economía circular y la transición energética.

El evento, impulsado por la Red de Valorización de Residuos (REDVAR), se fundamenta en principios de ciencia abierta, colaboración interdisciplinaria y apropiación social del conocimiento. En coherencia con estos principios, el I SIVAR – V SICAMER 2026 fue concebido como un evento de acceso gratuito, promoviendo la participación amplia de la comunidad académica, científica y social. Su realización fue posible gracias al respaldo institucional de la Universidad Nacional de Colombia y al trabajo articulado de docentes y estudiantes de las instituciones firmantes del convenio REDVAR, quienes contribuyeron de manera decisiva a su organización y desarrollo.

La integración del I SIVAR y el V SICAMER representa la convergencia de comunidades científicas con trayectorias complementarias, consolidando un enfoque que reconoce la interdependencia entre los procesos de valorización de residuos, el diseño de materiales y catalizadores, y el desarrollo de soluciones energéticas sostenibles. Este espacio ha permitido fortalecer redes de cooperación, promover el intercambio de conocimientos y catalizar nuevas líneas de investigación orientadas a la solución de desafíos ambientales complejos.

En este sentido, estas memorias no solo constituyen un registro de avances científicos, sino también una evidencia del papel estratégico de la investigación colaborativa en la construcción de soluciones sostenibles. Se espera que este compendio contribuya a la consolidación de nuevas agendas de investigación, al fortalecimiento de alianzas interinstitucionales y a la implementación de tecnologías y estrategias con impacto en los territorios.



## PRESENTACIÓN

El **Simpósio Internacional en Catálisis Ambiental y Energías Renovables (SICAMER)** tuvo su origen en 2017 bajo el liderazgo de la profesora **Alba Nelly Ardila Arias**, como una iniciativa de los investigadores activos del **Grupo de Investigación en Catálisis Ambiental y Energías Renovables (CAMER)**, adscrito a la Facultad de Ciencias y Educación del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Desde su creación, el evento se concibió como un espacio académico y científico destinado al intercambio y la socialización de resultados de investigación en catálisis ambiental y energías renovables, con miras a fortalecer la discusión técnica y a potenciar la consolidación de redes de colaboración. La visión de la Dra. Ardila permitió establecer el SICAMER como un evento bianual que, desde su primera edición, ha contado con la participación de investigadores nacionales e internacionales, garantizando un diálogo permanente alrededor de los desafíos científicos, tecnológicos y ambientales más relevantes del sector.

A lo largo de sus distintas ediciones, el SICAMER se ha distinguido también por incorporar un fuerte componente formativo dirigido a estudiantes de semilleros de investigación y del programa de Tecnología en Química Industrial y de Laboratorio. Gracias a los cursos especializados ofrecidos durante el evento, los estudiantes han podido recibir capacitación directa de expertos reconocidos en catálisis ambiental y energías renovables, fortaleciendo sus competencias y estimulando una formación integral orientada a la investigación. Esta apuesta por la educación y la creación de comunidad científica se convirtió en uno de los pilares del crecimiento y la proyección del evento, consolidándolo como un referente para la formación de talento humano en áreas clave para la sostenibilidad.

Por su parte, el **I SIVAR** nace como una iniciativa de los integrantes de la Red de Valorización de Residuos (REDVAR), quienes identificaron la necesidad de consolidar un espacio académico propio para socializar y fortalecer los avances investigativos desarrollados por sus miembros. Su primera versión se realizó en 2025 bajo el formato del **I Simposio Nacional de Valorización de Residuos (I SINAVAR)**, organizado y liderado por la profesora **Luz Marina Ocampo Carmona**, directora de REDVAR. Este evento marcó un hito para la red al reunir, por primera vez, a investigadores, estudiantes y actores del sector productivo en torno a la valorización de residuos como eje estratégico para la economía circular, sentando así las bases para su posterior proyección internacional y para la creación formal del I Simposio Internacional en Valorización de Residuos (I SIVAR).

La integración del **I SIVAR** y el **V SICAMER** surge de la complementariedad natural entre la valorización de residuos, la catálisis ambiental y las energías renovables, áreas fundamentales para la sostenibilidad, la economía circular y la transición energética. Unir ambos eventos fortalece la articulación de comunidades científicas que comparten objetivos, retos y enfoques tecnológicos convergentes, permitiendo consolidar un espacio único de intercambio, reflexión y construcción colectiva.

Nos complace presentar esta edición conjunta del **I Simposio Internacional en Valorización de Residuos (I SIVAR)** y del **V Simposio Internacional en Catálisis Ambiental y Energías Renovables (V SICAMER)**, un evento que articula tres pilares esenciales de la sostenibilidad contemporánea y que reúne esfuerzos, experiencias y visiones orientadas al desarrollo de procesos más eficientes, tecnologías limpias y estrategias circulares que impulsen soluciones innovadoras en estos campos interrelacionados.

Esta decisión responde también a un proceso de liderazgo académico consolidado. La profesora **Luz Marina Ocampo Carmona**, directora de REDVAR, ha contribuido significativamente al desarrollo del SICAMER como organizadora del III SICAMER 2022, presidenta del IV SICAMER 2024, presidenta del I SINAVAR 2025 y presidenta del I SIVAR – V SICAMER 2026. A su vez, la profesora **Alba Nelly Ardila Arias**, integrante de REDVAR, ha sido presidenta del I, II y III SICAMER, garantizando continuidad, solidez académica y proyección internacional a lo largo de todas las ediciones.



Investigadores, estudiantes, empresas, instituciones y comunidades se reúnen aquí para compartir avances, fortalecer alianzas, inspirar nuevas ideas y promover tecnologías capaces de generar impactos reales en los territorios. Cada aporte, desde una idea emergente hasta un desarrollo consolidado, es parte fundamental de este movimiento colectivo hacia un futuro más justo y regenerativo.

El **I SIVAR – V SICAMER 2026: “Saberes que conectan el mundo: valorización, catálisis y energía para la sostenibilidad global”** es más que un evento: es un punto de encuentro y un catalizador de sinergias para imaginar y materializar un mundo sostenible.

Bienvenidos a esta celebración del conocimiento, la innovación y la integración internacional por la sostenibilidad global.

## LÍNEAS TEMÁTICAS

### 1. Valorización de residuos y economía circular (VREC)

- Aprovechamiento de residuos orgánicos, agrícolas, industriales y mineros.
- Obtención de materiales avanzados y productos de valor agregado.
- Procesos de bioconversión, biorrefinerías y bioproductos.
- Modelos de economía circular y simbiosis industrial.
- Innovación en separación, reciclaje y reutilización de materiales.

### 2. Catálisis ambiental y remediación de contaminantes (CARC)

- Catálisis heterogénea, homogénea y enzimática para procesos ambientalmente relevantes.
- Degradación y transformación de contaminantes orgánicos e inorgánicos.
- Diseño de catalizadores para la remediación de aguas, suelos y aire.
- Procesos foto-, electro- y biocatalíticos.
- Nuevas rutas catalíticas para mitigación de emisiones y reducción de impacto ambiental.
- Generación de productos de alto valor agregado.
- Síntesis de materiales estructurados, adsorbentes, soportes y catalizadores a partir de residuos.

### 3. Tecnologías emergentes para energías renovables (TEER)

- Conversión catalítica de biomasa a biocombustibles.
- Hidrógeno verde, biohidrógeno y portadores de hidrógeno.
- Energía solar, eólica y otras alternativas integradas a procesos circulares.
- Materiales y dispositivos para almacenamiento energético (baterías, supercapacitores).
- Síntesis de combustibles sostenibles e intermediarios energéticos.

### 4. Materiales funcionales y nanotecnología aplicada (MFNA)

- Nanomateriales para catálisis, remediación y valorización.
- Materiales avanzados obtenidos a partir de residuos.
- Diseño, caracterización y modelado de materiales con aplicaciones ambientales.
- Materiales porosos, compósitos, MOFs, COFs y sistemas híbridos.
- Nuevos materiales para la producción, transporte y almacenamiento de hidrógeno y productos derivados

### 5. Herramientas de análisis, modelación y optimización de procesos (HAMOP)

- Herramientas computacionales aplicadas al aprovechamiento de las energías renovables
- Modelación computacional y simulación de procesos químicos y ambientales.
- Evaluación del ciclo de vida (LCA), análisis exergético y ecoeficiencia.



- Optimización y escalamiento de procesos catalíticos y de valorización.
- Métodos avanzados de caracterización fisicoquímica.
- Procesos con enfoque de economía circular.

## 6. Innovación industrial, transferencia tecnológica y sostenibilidad territorial (ITST)

- Implementación de tecnologías limpias en el sector productivo.
- Estrategias para la transición energética en industrias y territorios.
- Soluciones tecnológicas para empresas basadas en procesos circulares.
- Diplomacia científica, gobernanza ambiental y políticas públicas para la sostenibilidad.
- Integración universidad–empresa–Estado–comunidad.

## 7. Educación, participación social y formación en sostenibilidad (EPSFS)

- Apropiación social del conocimiento.
- Estrategias de educación ambiental y tecnológica para comunidades y sectores productivos.
- Enfoques participativos e Investigación Acción Participativa (IAP) aplicada a residuos y energía.
- Desarrollo de competencias y formación de talento humano en catálisis, energías y valorización.

## OBJETIVO GENERAL

Impulsar un encuentro internacional que inspire, conecte y movilice a la comunidad científica, académica, industrial y social en torno a la valorización de residuos, la catálisis ambiental y las energías renovables, promoviendo la co-creación de conocimientos, tecnologías y alianzas que transformen desafíos ambientales en oportunidades para construir un futuro más sostenible, justo y regenerativo para el planeta.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Difundir y discutir avances científicos, tecnológicos y metodológicos en valorización de residuos, catálisis ambiental, energías renovables y desarrollo sostenible, promoviendo el intercambio riguroso de conocimientos entre diversas disciplinas.
- Fortalecer redes de cooperación académica, científica, tecnológica e industrial, consolidando alianzas estratégicas nacionales e internacionales que impulsen proyectos conjuntos, transferencia de conocimiento y desarrollo de soluciones de alto impacto.
- Promover la articulación entre universidad, empresa, Estado y sociedad, para favorecer la implementación de tecnologías limpias, procesos circulares y estrategias sostenibles en contextos reales.
- Fomentar la participación activa y la formación de estudiantes, semilleros de investigación y jóvenes investigadores, integrándolos en comunidades científicas y redes colaborativas que potencien su desarrollo académico y profesional.
- Propiciar espacios de innovación, co-creación y multidisciplinariedad, mediante talleres, foros y actividades especializadas que faciliten la formulación de propuestas, la solución de problemáticas ambientales y la generación de tecnologías sostenibles.

**MODALIDAD:** Híbrida y gratis para todos los participantes

**SEDE DEL EVENTO:** Auditorio Alejandro López, M3-218 de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional, Sede Medellín.





## CONFERENCISTAS INTERNACIONALES





**Dra. RAFAELLA RESENDE ANDRADE**  
 Universidade Federal de Goiás, Brazil.

***Plenaria Internacional 1***  
***“Gestión ambiental en la producción animal como estrategia de sostenibilidad e innovación en escenarios de cambio climático”***

Profesora en el Sector de Ingeniería de Biosistemas de la Facultad de Agronomía de la Universidad Federal de Goiás (UFG), Brasil.

Docente del Programa de Posgrado en Zootecnia (PPGZ/UFG).

Posdoctorado. Universidad de Florencia (Unifi), Italia.

Doctora y Magíster en Ingeniería Agrícola. Línea de investigación de Construcciones Rurales y Ambiente. Universidade Federal de Viçosa, con estancia en la Universidad de Évora (Portugal) como becaria Erasmus.

Ingeniera Agrícola por la UFLA.

Miembro del proyecto de intercambio Brafagri/CAPES entre Brasil y Francia.

Coordina proyectos en gestión ambiental y estrategias de adaptación para la ganadería frente a escenarios de cambio climático





**Dr. JOSÉ ANTONIO DE LOS REYES HEREDIA**  
 Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa

***Plenaria Internacional 2***  
***“Desarrollo de materiales catalíticos para la valorización de biomasa a partir de tratamiento de bioaceites”***

Ingeniero Químico y de Sistemas por el ITESM.

Doctor con especialidad en Cinética Química y Catálisis por la Universidad Lyon I y el Institut de Recherches sur la Catalyse.

Profesor a la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAM-I) en el Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica.

Presidente de la Federación Iberoamericana de Sociedades de Catálisis.

Asesor del Instituto Mexicano del Petróleo

Director de 19 tesis de doctorado, 39 de maestría y 45 proyectos terminales o tesis a nivel licenciatura.

Mis líneas de investigación incluyen la valorización de residuos agrícolas por vía procesos catalíticos, para la obtención de combustibles ultralimpios, turbosina y otros compuestos. Asimismo, el procesamiento de CO<sub>2</sub> para obtención de alcanos y alcoholes. He publicado más de 105 artículos en revistas indizadas y he participado en eventos especializados en el ramo desde 1992.







**Dr. FRANCISCO CARRASCO MARIN**

Universidad de Granada, España

### ***Plenaria Internacional 3***

***“Materiales carbonosos avanzados obtenidos a partir de biomasa. Aplicaciones medioambientales.”***

Doctor en Química con **Premio Extraordinario** y formado en **The Pennsylvania State University (EE. UU.)**.

Catedrático de Química Inorgánica en la Universidad de Granada (España) y Profesor Honorario de la Universidad Nacional de Colombia.

Especialista reconocido internacionalmente en **materiales de carbono avanzados**.

Dirige el grupo **Polyfunctional Carbon-Based Materials (UGR Carbon)** y preside el **Comité de Dirección de la Escuela de Doctorado en Ciencia, Tecnología e Ingeniería** de la UGR.

Más de **260 publicaciones**, más de **11000 citas**, **h-index 54**, participación en **más de 50 proyectos** (ocho como IP) y la dirección de **20 tesis doctorales**.

Ha impartido **45 conferencias invitadas y plenarias**, organizado congresos internacionales de referencia (incluyendo **CARBON 2018**), y es coautor de **dos patentes internacionales**.

Reconocido por *Research.com* entre los investigadores más influyentes en Química, su investigación se centra en la **síntesis y aplicación de materiales carbonosos en catálisis, remediación ambiental, almacenamiento energético, electroreducción de CO<sub>2</sub> y recuperación mejorada de hidrocarburos**.

Ha sido **Vicepresidente del Grupo Español del Carbono** y colabora activamente con agencias científicas de España y Latinoamérica



**Dr. JOSÉ GUADALUPE RUTIAGA QUINONES**

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.

### ***Plenaria Internacional 4***

***“De subproductos forestales a energía y químicos de alto valor”***

Profesor e Investigador. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera (FITECMA). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) – México.

Doctorado en la Universidad Técnica de Múnich. Maestría en Ciencias de Productos Forestales. Universidad de Guadalajara.

Ingeniero en Tecnología de la Madera por la UMSNH, con Especialidad en Celulosa y Papel.

Miembro del SNII, nivel 2 de la SECIHTI en México, y cuenta con perfil PRODEP.

Sus líneas de investigación son: química de la madera, bioenergía y biocombustibles sólidos densificados.

Ha publicado más de 150 artículos científicos y tiene más de 290 participaciones en eventos académicos nacionales e internacionales.

Ha dirigido más de 80 tesis (pre- y posgrado). Ha participado en más de 15 proyectos de investigación.

Recibió la distinción por parte de Sigma Xi de Estados Unidos como miembro de esa sociedad.





## CONFERENCISTAS NACIONALES





**Dra. ALBA NELLY ARDILA ARIAS**  
 Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

**Plenaria Nacional 1**  
**“Valorización de subproductos para el desarrollo de materiales con aplicaciones ambientales bajo un enfoque de economía circular”**

**Magíster en Ciencias Químicas y Doctora en Ciencias Ingeniería Química** de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México. Con diferentes premios, entre ellos los más destacados **Mención Honorífica “Medalla al Mérito”**, otorgado por mejor promedio durante sus estudios de doctorado. Premio **“Mejor Tesis de Doctorado, otorgado por la Academia Mexicana de Catálisis (ACAT) y premio “Rosa María Bolívar Osorio” otorgado por RedColsi por su labor destacada como coordinadora de Semilleros de Investigación.** Reconocimiento **“Profesora Distinguida”**, mención otorgada a profesores que hayan contribuido de forma significativa en los campos de la ciencia, la técnica, la tecnología, el arte, las humanidades o la pedagogía.

**Profesora Titular del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.** Dirige el grupo de Investigación en Catálisis Ambiental y Energías Renovables **CAMER** clasificado en **Categoría A** y reconocida por Minciencias como Investigadora Sénior.

Con Más de **76 publicaciones**, **8 capítulos de libro**, con más de **607 citas**, **h-index 14**, y con más de **50 boletines de divulgación científica**, participación en **más de 50 proyectos**. Ha dirigido y codirigido **más de 47 tesis de pregrado y 13 de posgrados entre Maestría y Doctorado**. Ha dirigido más de **16 consultorías tecnológicas** con empresas del sector productivo y ambiental.

Ha impartido **10 conferencias invitadas y plenarias**, organizado congresos nacionales e internacionales de referencia como el SICAMER.

Su investigación se centra en la Valorización de subproductos para el desarrollo de materiales con aplicaciones en catálisis, fotocatalisis, carbocatálisis y procesos de adsorción para la remoción y degradación de contaminantes y producción de químicos de alto valor agregado bajo un enfoque de economía circular.





**Dr. DIEGO CAMILO DURÁN GARCÍA**  
 Universidad Nacional de Colombia, sede La Paz

**Plenaria Nacional 2**  
**“Aprovechamiento integral de residuos agroindustriales y biodiversidad de la Región Caribe de Colombia con un enfoque de bioeconomía y sostenibilidad ambiental”**

**Químico**, Magíster en Química y Doctor en Química de la Universidad Industrial de Santander. Actualmente **Profesor Asociado de la Universidad Nacional de Colombia**, Sede de La Paz, en el departamento del Cesar.

Durante más de 20 años ha trabajado en el área de química analítica, enfocada al estudio de los productos naturales obtenidos de especies vegetales y su aprovechamiento para el desarrollo de productos con valor agregado. **Trabaja en las líneas** de valorización y aprovechamiento de residuos de los sectores agrícolas y agroindustriales, en el desarrollo de alimentos e ingredientes funcionales, desarrollo de bioproductos a partir del uso sostenible de la biodiversidad vegetal para el control de plagas y enfermedades en cultivos, y en sistemas de producción agro-voltaicos, en los cuales se combinan la energía fotovoltaica con cultivos, a partir de los cuales se generen productos con valor agregado, mediante procesos que emplean fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER).

Como resultado del trabajo investigativo ha participado en la publicación de más de 25 artículos científicos, un capítulo de libro, la obtención de siete patentes de invención y la divulgación de más de 60 trabajos en eventos científicos nacionales e internacionales.

Actualmente hace parte de la Red de Valorización de Residuos – REDVAR.









**Dr. MARCO ANTONIO MÁRQUEZ GODOY**  
 Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín

**Plenaria Nacional 3**

***“Aplicación de la biohidrometalurgia en el aprovechamiento de residuos minerales bajo un enfoque de economía circular”***

Doctor en Mineralogía Aplicada por la Universidade de Brasilia.

Profesor e investigador de la Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas.

Investigador Senior de Minciencias.

Director del Grupo de Investigación en Mineralogía Aplicada y Bioprocesos (GMAB), del Laboratorio de Biomineralogía y Biohidrometalurgia y del Laboratorio de Mineralogía y Cristalografía.

Sus líneas de investigación incluyen mineralogía aplicada, biohidrometalurgia, biomineralización, recuperación de metales críticos y valorización de residuos minerales bajo enfoques de economía circular y sostenibilidad.

Autor de más de 60 artículos científicos en revistas indexadas y participante activo en congresos y eventos científicos nacionales e internacionales.

Director de más de 40 tesis de maestría y doctorado.





**Dr. FABIO SUÁREZ BUSTAMANTE**  
 Empresa Faro Tecnológico S.A.S.

**Plenaria Nacional 4**

***“Energía eólica en Colombia, una alternativa complementaria de gran potencial y grandes desafíos tecnológicos”***

Ingeniero Mecánico, Magíster en Ingeniería (Ciencia y Tecnología de Materiales) y Doctor en Ingeniería (Ciencia y Tecnología de Materiales). Egresado de la Universidad Nacional de Colombia (UN) en su pregrado y posgrados; adscrito a los grupos de investigación de Tribología y Superficies (GTS) y de Ciencia y Tecnología de Materiales (CTM) de la UN, y al Semillero de Investigación en Ciencias Básicas Aplicadas (SICBA, Grupo ABEL) de la Universidad ECCI.

Docente en la Universidad ECCI en el área de ciencias básicas y en la Universidad Nacional de Colombia – Facultad de Minas en las áreas de ingeniería mecánica y de materiales. Apasionado por las matemáticas, la física, la tribología, el diseño en ingeniería y el cuidado del medio ambiente.

Fundador y gerente de Faro Tecnológico S.A.S., empresa de base tecnológica dedicada a servicios de asesoría y consultoría en temas de materiales e ingeniería mecánica, análisis de fallas, diseño de prototipos funcionales y caracterización de materiales entre otros.





## MINICURSOS





**Dra. RAFAELLA RESENDE ANDRADE**  
 Universidade Federal de Goiás, Brazil.

***Minicurso 1 “Valorización de residuos agropecuarios para la generación de energía”***

 **1 de junio de 2026, 1:00 – 5:00 pm**

Link al Minicurso 1  
<https://meet.google.com/hxr-ybwy-izg?hs=122&authuser=0>

Profesora en el Sector de Ingeniería de Biosistemas de la Facultad de Agronomía de la Universidad Federal de Goiás (UFG), Brasil.

Docente del Programa de Posgrado en Zootecnia (PPGZ/UFG).

Posdoctorado. Universidad de Florencia (UniFI), Italia.

Doctora y Magíster en Ingeniería Agrícola. Línea de investigación de Construcciones Rurales y Ambiente. Universidade Federal de Viçosa, con estancia en la Universidad de Évora (Portugal) como becaria Erasmus.

Ingeniera Agrícola por la UFLA.

Miembro del proyecto de intercambio Brafagri/CAPES entre Brasil y Francia.

Coordina proyectos en gestión ambiental y estrategias de adaptación para la ganadería frente a escenarios de cambio climático





**Dr. JOSÉ ANTONIO DE LOS REYES HEREDIA.**  
 Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa

***Minicurso 2 “Reacciones y su cinética involucrada en procesos de valorización de bioaceites”***

 **1 de junio de 2026, 1:00 – 5:00 pm**

Link al Minicurso 2  
<https://meet.google.com/zmj-hqrq-keg?hs=122&authuser=0>

Ingeniero Químico y de Sistemas por el ITESM.

Doctor con especialidad en Cinética Química y Catálisis por la Universidad Lyon I y el Institut de Recherches sur la Catalyse.

Profesor a la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAM-I) en el Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica.

Presidente de la Federación Iberoamericana de Sociedades de Catálisis.

Asesor del Instituto Mexicano del Petróleo

Director de 19 tesis de doctorado, 39 de maestría y 45 proyectos terminales o tesis a nivel licenciatura.

Mis líneas de investigación incluyen la valorización de residuos agrícolas por vía procesos catalíticos, para la obtención de combustibles ultralimpios, turbosina y otros compuestos. Asimismo, el procesamiento de CO<sub>2</sub> para obtención de alcanos y alcoholes. He publicado más de 105 artículos en revistas indizadas y he participado en eventos especializados en el ramo desde 1992.







## Dr. FRANCISCO CARRASCO MARIN

Universidad de Granada, España

### *Minicurso 3 “Preparación de materiales de carbón avanzados a partir de residuos de biomasa”*



1 de junio de 2026, 1:00 – 5:00 pm

Link al Minicurso 3

<https://meet.google.com/buy-mixh-ods?hs=122&authuser=1>

Doctor en Química con **Premio Extraordinario** y formado en **The Pennsylvania State University (EE. UU.)**.

Catedrático de Química Inorgánica en la Universidad de Granada (España) y Profesor Honorario de la Universidad Nacional de Colombia.

Especialista reconocido internacionalmente en **materiales de carbono avanzados**.

Dirige el grupo **Polyfunctional Carbon-Based Materials (UGR Carbon)** y preside el **Comité de Dirección de la Escuela de Doctorado en Ciencia, Tecnología e Ingeniería** de la UGR.

Más de **260 publicaciones**, más de **11000 citas**, **h-index 54**, participación en **más de 50 proyectos** (ocho como IP) y la dirección de **20 tesis doctorales**.

Ha impartido **45 conferencias invitadas y plenarias**, organizado congresos internacionales de referencia (incluyendo **CARBON 2018**), y es coautor de **dos patentes internacionales**.

Reconocido por *Research.com* entre los investigadores más influyentes en Química, su investigación se centra en la **síntesis y aplicación de materiales carbonosos en catálisis, remediación ambiental, almacenamiento energético, electroreducción de CO<sub>2</sub> y recuperación mejorada de hidrocarburos**.

Ha sido **Vicepresidente del Grupo Español del Carbono** y colabora activamente con agencias científicas de España y Latinoamérica



## Dr. JOSÉ GUADALUPE RUTIAGA QUINONES

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

### *Minicurso 4 “Materiales lignocelulósicos: química y su aplicación en biocombustibles sólidos densificados”*



1 de junio de 2026, 1:00 – 5:00 pm

Link al Minicurso 4

<https://meet.google.com/mib-jhfy-ayo>

Profesor e Investigador. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera (FITECMA). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) – México.

Doctorado en la Universidad Técnica de Múnich. Maestría en Ciencias de Productos Forestales. Universidad de Guadalajara.

Ingeniero en Tecnología de la Madera por la UMSNH, con Especialidad en Celulosa y Papel.

Miembro del SNII, nivel 2 de la SECIHTI en México, y cuenta con perfil PRODEP.

Sus líneas de investigación son: química de la madera, bioenergía y biocombustibles sólidos densificados.

Ha publicado más de 150 artículos científicos y tiene más de 290 participaciones en eventos académicos nacionales e internacionales.

Ha dirigido más de 80 tesis (pre- y posgrado). Ha participado en más de 15 proyectos de investigación.

Recibió la distinción por parte de Sigma Xi de Estados Unidos como miembro de esa sociedad.



## COMITÉ CIENTÍFICO Y ORGANIZADOR



Presidente



Directora



Directora

### Dra. LUZ MARINA OCAMPO CARMONA.

Universidad Nacional de Colombia, Medellín

#### Líneas de investigación:

1. Aprovechamiento de residuos de origen metálico (mineros, industriales y urbanos)
2. Desarrollo de solventes eutécticos profundos para diferentes aplicaciones
3. Aprovechamiento de residuos del café



### Dra. ALBA NELLY ARDILA ARIAS

 Politécnico Colombiano  
 Jaime Isaza Cadavid,  
 Medellín


Directora Grupo en Catálisis Ambiental y Energías Renovables

#### Líneas de investigación:

1. Valorización energética de biomasa y residuos.
2. Manejo, aprovechamiento y reutilización de aguas residuales.
3. Degradación fotocatalítica de contaminantes hídricos y emergentes.
4. Adsorción de metales pesados y colorantes
5. Evaluación de materiales catalíticos bimetalicos



### Dra. LEIDY HOYOS GIRALDO

Tecnológico de Antioquia, Medellín


 Grupo de Investigación  
 Ciencias Básicas Aplicadas  
 (CBATA)

#### líneas de investigación:

1. Materiales porosos
2. Valorización de residuos poliméricos,
3. Soportes para celdas de combustible,
4. Energías renovables.
5. Fotocatálisis y adsorción.
6. Valorización de residuos agroindustriales.
7. Materiales Carbonosos,
8. Descontaminación de aguas.







**Dr. FABIO SUÁREZ BUSTAMANTE**

Gerente, Faro Tecnológico S.A.S.

Consultor en tratamientos térmicos de aleaciones, tribología y modelación de sistemas mecánicos. Ha trabajado en el sector eléctrico en el área de mantenimiento mecánico en hidroeléctricas (ISAGEN S.A. ESP) y para empresas multinacionales apoyando el área de innovación, diseño de productos, análisis de fallas y mejoras de procesos.

En FARO trabaja en el desarrollo de un aerogenerador recíprocante bioinspirado para promover el desarrollo de nuevas tecnologías para la generación de energías limpias. Además, participa en un proyecto de la UNAL para el aprovechamiento de residuos del café y, en el desarrollo de equipos de bajo costo para monitoreo y caracterización del oleaje de la superficie del mar y de otros cuerpos de agua



**Dra. MÓNICA SANDOVAL RINCÓN**

Universidad Nacional de Colombia, La Paz

Ha trabajado en la síntesis de nuevos materiales aplicados a dispositivos para la generación de energía de manera limpia, y generación de biomateriales para el aprovechamiento de residuos.



**Dr. DIEGO CAMILO DURÁN GARCÍA**

Universidad Nacional de Colombia, La Paz

Ha trabajado en el área de química analítica, enfocada al estudio de los productos naturales obtenidos de especies vegetales y su aprovechamiento para el desarrollo de productos con valor agregado. Posee experiencia en diferentes métodos de extracción de metabolitos secundarios y en la optimización de los procesos extractivos y de fraccionamiento, así como en la transferencia de tecnología al sector productivo.

Junto a otros colegas ha trabajado métodos para el análisis y caracterización de suelos y aguas, desarrollo de bioproductos a partir del uso sostenible de la biodiversidad vegetal para el control de plagas y enfermedades en cultivos de la región (café, mango, cacao), en valorización de residuos agroindustriales, y en el desarrollo de productos para los sectores cosmético, alimentos y aseo.





**Dra. YAZMIN AGAMEZ PERTUZ**  
Universidad Nacional de Colombia,  
Bogotá.



Directora  
Laboratorio de  
Investigación en  
Combustibles y  
Energía

**Líneas de investigación:**

1. Química ambiental
2. Nuevos procesos en energías alternativas. Producción de hidrógeno,
3. Química analítica,
4. Caracterización fisicoquímica de compuestos químicos y de materiales carbonosos,
5. Comportamiento de catalizadores zeolíticos para la producción de gasolinas
6. Carbones como fuente de energía eléctrica y productos de alto valor agregado.



**Dr. EDUARD ROMERO MALAGÓN**  
Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Integrante del grupo Laboratorio de Investigación en Combustibles y Energía

**Línea de investigación:**

1. Valorización de residuos lignocelulósicos y subproductos industriales para la obtención de materiales carbonosos, biocarbonos y adsorbentes avanzados, orientados al aprovechamiento sostenible de recursos y la mitigación de impactos ambientales.
2. Desarrollo de materiales porosos y aerogeles de carbono obtenidos a partir de residuos, así como en su aplicación en procesos de adsorción y conversión energética.



**Dra. ELIZABETH CARVAJAL FLÓREZ**  
Universidad Nacional de Colombia, Medellín



Integrante

1. Directora del laboratorio de Ciencias Ambientales y de la tierra.
2. Líder de la Estrategia Campus sostenible de la Facultad.
3. Integrante del Grupo Oplítica y
4. Su trabajo se centra en la sostenibilidad, particularmente en la gestión del agua, residuos sólidos y certificaciones ambientales.





**Dra. ANGELA RUIZ COLORADO**

Universidad Nacional de Colombia, Medellín



**Líneas de investigación:**

1. Fermentaciones microbianas y cinéticas de crecimiento.
2. Aprovechamiento de residuos agroindustriales para bioprocesos.
3. Diseño y optimización de biorreactores.
4. Sostenibilidad en procesos biotecnológicos.



**Dra. LUZ DINORA VERA ACEVEDO**

Universidad Nacional de Colombia, Medellín

1. Integrante del grupo Economía y Medio ambiente-GEYMA.
2. Docencia en áreas de gestión ambiental, responsabilidad social empresarial y gestión humana.
3. Experiencia investigativa en gestión de la calidad, así como desarrollo de proyectos de gestión comunitaria y desarrollo de capacidades en la industria cementera y minera.



**Dr. MARCO MÁRQUEZ GODOY**

Universidad Nacional de Colombia, Medellín



Líder del Grupo

**Líneas de investigación:**

1. Biomineralogía
2. Biohidrometalurgia
3. Biogeotecnología
4. Mineralogía Aplicada
5. Geometalurgia
6. Geocatálisis
7. Caracterización de Materiales
8. Geoarqueología y Archeometría
9. Materiales Cerámicos







**Dra. MAURIN SALAMANCA GUZMÁN**  
Universidad Nacional de Colombia, Medellín



**CIENCIA DE  
MATERIALES  
AVANZADOS**

Integrante

**Líneas de investigación:**

1. Transformación de diferentes materias primas que permitan la síntesis de materiales nanoestructurados y compuestos con aplicaciones en áreas tales como ambiente y energía.
2. Procesos de formación de contaminantes atmosféricos a partir de diferentes combustibles.



**Dra. JANNETH TORRES AGREDO**  
Universidad Nacional de Colombia, Palmira



**Líneas de Investigación:**

1. Uso de materiales alternativos al cemento Portland,
2. Aprovechamiento de residuos industriales,
3. Caracterización de residuos ordinarios y peligrosos y economía circular



**Dr. ARTURO GÓMEZ INSUASTI**  
Universidad Nacional de Colombia, Leticia

Director del Grupo Gestión Ambiental Territorial e Innovación para el Desarrollo Sostenible (GAMTS).

Sus investigaciones abordan la resiliencia productiva frente al cambio climático, la captura y almacenamiento de carbono, y el aprovechamiento de residuos orgánicos y biomasa vegetal para la generación de bioenergía, bioabonos y biochar (carbón vegetal obtenido por pirólisis).

Ha liderado proyectos orientados a la transición energética, la producción sostenible y la seguridad hídrica en comunidades rurales e indígenas de la Amazonía.





**M.Sc. SANTIAGO BEDOYA BETANCUR**  
 Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

Tecnólogo Químico, Ingeniero Químico, Magíster en Ingeniería y candidato a Doctorado en Ingeniería Ciencia y Tecnología de Materiales de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, con experiencia en investigación en química ambiental, materiales, recuperación de materiales provenientes de baterías de ion-litio y aprovechamiento de residuos agroindustriales para la obtención de productos de alto valor agregado.



**Dra. AIDA LUZ VILLA HOLGUÍN**  
 Universidad de Antioquia

Profesora titular, departamento de Ingeniería Química, Universidad de Antioquia; coordinadora Grupo Catálisis Ambiental. Doctora en Ciencias Biológicas (Katholieke Universiteit Leuven, Bélgica), Máster en Ciencias Químicas (Universidad de Antioquia), ingeniera química (Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín). Áreas de investigación: síntesis de catalizadores, cinética, aceites esenciales, transformación de monoterpenos, diseño de reactores, catálisis, catálisis heterogénea, reducción de NO<sub>x</sub>, captura de CO<sub>2</sub>, transformación de biomasa, análisis de ciclo de vida, extracción de bioactivos.



**M. Sc. SANTIAGO GUTIÉRREZ**  
 Biomassnest

Biólogo e Investigador – Líder Técnico de Operaciones de Biomassnest S.A.S., con más de cuatro años de experiencia en bioenergía y aprovechamiento energético de biomasa. Su trabajo se centra en el desarrollo de proyectos relacionados con la producción y uso de pellets de biomasa, generación de energía térmica, economía circular y formulación de iniciativas de investigación, desarrollo e innovación orientadas a la transición energética y la sostenibilidad.





**M. Sc. FRANCISCO VALENCIA  
ALAIX**

Consultor Independiente

Zootecnista, especialista y magíster en Biotecnología, candidato a doctor en Ingeniería de Sistemas Energéticos y especialista en Ciencia de Datos. Cuenta con más de 24 años de experiencia en biotecnología, biología cuantitativa, ciencia de datos aplicada, automatización, aprendizaje automático y modelamiento de sistemas biológicos, con aplicaciones en valorización de residuos, bioeconomía y procesos productivos con enfoque ambiental. Actualmente se desempeña como consultor independiente y colabora con la Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, a través del Grupo BioFrun y la Red de Valorización de Residuos.



**M. Sc. ERASMO ARRIOLA VILLASEÑOR**

Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

Ingeniero en Energía y Magíster en Ing. Química (UAM, México), es Candidato a Doctor en la UNAL Medellín, docente-investigador del Politécnico Jaime Isaza Cadavid e Investigador Junior (Minciencias). Centrado en catálisis heterogénea, materiales carbonosos, valorización de residuos, producción de H<sub>2</sub> y transición energética. Registra +20 proyectos, +15 artículos y +40 ponencias. Desarrolla catalizadores a partir de biomasa y residuos para aplicaciones energéticas y ambientales, y fomenta la formación de talento en ing. química y energética.



**M. Sc. LAURA SOFÍA BENAVIDES MAYA**

Universidad Nacional de Colombia

Ingeniera Química y Magíster en Ingeniería de Materiales y Procesos, con más de cuatro años de experiencia en investigación científica. Su trayectoria investigativa se ha enfocado en el diseño, síntesis y evaluación de materiales innovadores como lo son los solventes alternativos basados en cafeína, incluyendo líquidos iónicos y solventes eutécticos profundos, orientados a procesos de desulfuración de combustibles.







**M. Sc. KAREN BIBIANA QUIROGA SALINAS**  
 Universidad Nacional de Colombia

Candidata a Doctora en Ciencias – Magister en Ciencias Química en la Universidad Nacional de Colombia. Su formación académica y trayectoria investigativa se han orientado al estudio de materiales carbonosos, particularmente biocarbones derivados de residuos lignocelulósicos, integrando la química ambiental, la química de suelos, la química analítica y la química de materiales para el desarrollo de aplicaciones sostenibles en sistemas agrícolas y ambientales.



**M. Sc. HERNANDO PALACIO HAJDUK**  
 Biomassnest

Economista de la Universidad de Antioquia, Especialista en Administración Financiera y Magíster en Finanzas de la Universidad EAFIT. Actualmente se desempeña como COO de BIOMASNEST SAS y profesor de Bioeconomía II en la Universidad EIA. Cuenta con amplia experiencia en bioeconomía, estructuración de proyectos, análisis de mercado y viabilidad económico-financiera, gestión de negocios de innovación y articulación con actores del ecosistema de ciencia, tecnología e innovación. Ha participado en proyectos relacionados con valorización de residuos agroindustriales, sostenibilidad, biotecnología, tratamiento de aguas residuales y modelos de negocio para iniciativas de base científica y tecnológica

## RESULTADOS ACADÉMICOS

- Publicación de memorias del evento con Registro ISBN.
- Constancia de presentación de ponencias en modalidad póster y oral.
- Reconocimientos mejores trabajos presentados en la modalidad póster y conferencia

## AGRADECIMIENTOS

A la Vicedecanatura de Investigación y Extensión de la Facultad de Minas y a la Red de Valorización de Residuos de la Universidad Nacional de Colombia (proyectos Hermes 57507 y 66782) por el apoyo financiero dado para la organización del Simposio.

Al comité organizador, comité de apoyo y los comités científico nacional e internacional por el apoyo dado en cada una de las etapas de la organización del I SIVAR - V SICAMER 2026.

A todos los estudiantes y docentes que hacen parte de la Red de Valorización de Residuos – REDVAR y del Semillero Intersedes de Valorización de Residuos y a todos los participantes de las diferentes instituciones por hacer posible este evento.



## INFORMACIÓN SOBRE PLENARIAS, PRESENTACIONES Y PÓSTER

Para las presentaciones y plenarias, usar la **plantilla Microsoft PowerPoint (PPT)** emitido por el Comité Científico del Simposio. Estas deben ser enviadas al correo electrónico [redvar\\_med@unal.edu.co](mailto:redvar_med@unal.edu.co) a más tardar **el viernes 12 de septiembre a las 12:00 m.** El nombre del archivo y asunto del correo electrónico deben corresponder al código asignado, por ejemplo: **VRESOR-15**. Si en la fecha indicada no se ha enviado la presentación se asumirá que no participará en el evento y se retirará el trabajo de la programación.

El tiempo para **las PLENARIAS es de 35 minutos y 10 minutos** de preguntas para el auditorio general.

Las presentaciones en modalidad **ORAL** tendrán una duración de 12 minutos de exposición y 2 minutos para preguntas por parte del auditorio.

Para los **PÓSTERS** se debe usar la **plantilla para POSTER** y deberán ser entregados a los organizadores el mismo día de la sección de Póster correspondiente.



## PROGRAMA RESUMIDO

| DÍA 1: 3 de junio |                                                                                       | DÍA 2: 4 de junio |                          |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|
| hora              | Actividad                                                                             | Hora              | Actividad                |
| 7:00 - 8:00       | Entrega de Escarapelas                                                                | 7:30 - 8:00       | Entrega de Escarapelas   |
| 8:00 - 8:20       | Acto de Inauguración<br>Dra. Luz Marina Ocampo<br>Dra. Alba Nelly Ardila              |                   |                          |
| 8:20 - 9:00       | Plenaria Internacional 1<br>Moderadora: Luz Marina Ocampo<br>Evaluador: Eduard Romero | 8:00 - 8:40       | Plenaria Internacional 3 |
| 9:00 - 9:15       | VREC-02                                                                               | 8:40 - 8:55       | VREC-87                  |
| 9:15 - 9:30       | VREC-55                                                                               | 8:55 - 9:10       | VREC-93                  |
| 9:30 - 9:45       | VREC-58                                                                               | 9:10 - 9:25       | VREC-94                  |
| 9:45 - 10:15      | Plenaria Nacional 1                                                                   | 9:25 - 9:55       | Plenaria Nacional 4      |
| 10:15 - 10:45     | Refrigerio 1                                                                          | 9:55 - 10:25      | Refrigerio 1             |
| 10:45 - 11:00     | VREC-61                                                                               | 10:25 - 10:40     | CARC-28                  |
| 11:00 - 11:15     | VREC-62                                                                               | 10:40 - 10:55     | CARC-19                  |
| 11:15 - 11:30     | VREC-68                                                                               | 10:55 - 11:10     | CARC-22                  |
| 11:30 - 12:10     | Plenaria Internacional 2                                                              | 11:10 - 11:50     | Plenaria Internacional 4 |
| 12:10 - 12:25     | VREC-74                                                                               | 11:50 - 12:05     | CARC-37                  |
| 12:25 - 12:40     | VREC-75                                                                               | 12:05 - 14:00     | Almuerzo                 |
| 12:40 - 12:55     | VREC-77                                                                               |                   |                          |
| 12:55 - 14:15     | Almuerzo                                                                              |                   |                          |
| 14:15 - 14:45     | Plenaria Nacional 3                                                                   |                   |                          |
| 14:45 - 15:00     | VREC-78                                                                               |                   |                          |
| 15:00 - 15:15     | VREC-83                                                                               |                   |                          |
| 15:15 - 15:30     | VREC-85                                                                               |                   |                          |





|                      |                            |
|----------------------|----------------------------|
| <b>15:30 - 16:00</b> | <b>Plenaria Nacional 2</b> |
| 16:00-16:15          | VREC-86                    |
| 16:15-16:30          | VREC-90                    |



| Sección de póster 14:00 - 17:00 HALL M3 |         |          |          |
|-----------------------------------------|---------|----------|----------|
| VREC-01                                 | VREC-71 | VREC-99  | MFNA-19  |
| VREC-15                                 | VREC-73 | CARC-23  | HAMOP-01 |
| VREC-25                                 | VREC-76 | CARC-24  | HAMOP-04 |
| VREC-38                                 | VREC-80 | CARC-29  | HAMOP-05 |
| VREC-56                                 | VREC-82 | CARC-34  | HAMOP-06 |
| VREC-65                                 | VREC-89 | CARC-36  | TEER-08  |
| VREC-66                                 | VREC-95 | CARC-39  | TEER-10  |
| VREC-67                                 | VREC-96 | VREC-100 | TEER-11  |
| VREC-69                                 | VREC-97 | MFNA-09  | TEER-12  |
| VREC-70                                 | VREC-98 | MFNA-16  | TEER-14  |

| DIA 3: 5 de junio |           |
|-------------------|-----------|
| hora              | Actividad |
| Aula virtual 1    |           |
| 8:00 - 8:15       | VREC-03   |
| 8:15 - 8:30       | VREC-05   |
| 8:30 - 8:45       | VREC-06   |
| 8:45 - 9:00       | VREC-07   |
| 9:00 - 9:15       | VREC-08   |
| 9:15 - 9:30       | VREC-09   |
| 9:30 - 9:45       | VREC-10   |

| DIA 3: 5 de junio |           |
|-------------------|-----------|
| hora              | Actividad |
| Aula virtual 2    |           |
| 8:00 - 8:15       | VREC-36   |
| 8:15 - 8:30       | VREC-37   |
| 8:30 - 8:45       | VREC-39   |
| 8:45 - 9:00       | VREC-40   |
| 9:00 - 9:15       | VREC-41   |
| 9:15 - 9:30       | VREC-42   |
| 9:30 - 9:45       | VREC-43   |



|                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| 9:45 - 10:00         | VREC-11         |
| 10:00 - 10:15        | Descanso        |
| 10:15 - 10:30        | VREC-12         |
| 10:30 - 10:45        | VREC-13         |
| 10:45 - 11:00        | VREC-14         |
| 11:00 - 11:15        | VREC-16         |
| 11:15 - 11:30        | VREC-17         |
| 11:30 - 11:45        | VREC-18         |
| 11:45 - 12:00        | VREC-19         |
| 12:00 - 12:15        | VREC-20         |
| 12:15 - 12:30        | VREC-21         |
| 12:30 - 12:45        | VREC-22         |
| 12:45 - 13:00        | VREC-23         |
| <b>13:00 - 14:00</b> | <b>Almuerzo</b> |
| 14:00 - 14:15        | VREC-24         |
| 14:15 - 14:30        | VREC-26         |
| 14:30 - 14:45        | VREC-27         |
| 14:45 - 15:00        | VREC-28         |
| 15:00 - 15:15        | VREC-30         |
| 15:15 - 15:30        | VREC-31         |
| 15:30 - 15:45        | VREC-32         |
| 15:45 - 16:00        | VREC-33         |
| <b>16:00 - 16:15</b> | <b>Descanso</b> |
| 16:15 - 16:30        | VREC-34         |
| 16:30 - 16:45        | VREC-35         |

|                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| 9:45 - 10:00         | VREC-44         |
| 10:00 - 10:15        | Descanso        |
| 10:15 - 10:30        | VREC-45         |
| 10:30 - 10:45        | VREC-46         |
| 10:45 - 11:00        | VREC-48         |
| 11:00 - 11:15        | VREC-49         |
| 11:15 - 11:30        | VREC-50         |
| 11:30 - 11:45        | VREC-51         |
| 11:45 - 12:00        | VREC-52         |
| 12:00 - 12:15        | VREC-53         |
| 12:15 - 12:30        | VREC-57         |
| 12:30 - 12:45        | VREC-59         |
| 12:45 - 13:00        | VREC-60         |
| <b>13:00 - 14:00</b> | <b>Almuerzo</b> |
| 14:00 - 14:15        | VREC-63         |
| 14:15 - 14:30        | VREC-64         |
| 14:30 - 14:45        | VREC-72         |
| 14:45 - 15:00        | VREC-79         |
| 15:00 - 15:15        | VREC-81         |
| 15:15 - 15:30        | VREC-84         |
| 15:30 - 15:45        | VREC-88         |
| 15:45 - 16:00        | VREC-91         |
| <b>16:00 - 16:15</b> | <b>Descanso</b> |
| 16:15 - 16:30        | VREC-92         |
|                      |                 |



| hora                  | Actividad |
|-----------------------|-----------|
| <b>Aula virtual 3</b> |           |
| 8:00 - 8:15           | CARC-01   |
| 8:15 - 8:30           | CARC-02   |
| 8:30 - 8:45           | CARC-03   |
| 8:45 - 9:00           | CARC-04   |
| 9:00 - 9:15           | CARC-05   |
| 9:15 - 9:30           | CARC-06   |
| 9:30 - 9:45           | CARC-07   |
| 9:45 - 10:00          | CARC-08   |
| 10:00 - 10:15         | Descanso  |
| 10:15 - 10:30         | CARC-10   |
| 10:30 - 10:45         | CARC-11   |
| 10:45 - 11:00         | CARC-12   |
| 11:00 - 11:15         | CARC-13   |
| 11:15 - 11:30         | CARC-14   |
| 11:30 - 11:45         | CARC-15   |
| 11:45 - 12:00         | CARC-16   |
| 12:00 - 12:15         | CARC-17   |
| 12:15 - 12:30         | CARC-18   |
| 12:30 - 12:45         | CARC-20   |
| 12:45 - 13:00         | CARC-21   |
| 13:00 - 14:00         | Almuerzo  |
| 14:00 - 14:15         | CARC-25   |
| 14:15 - 14:30         | CARC-26   |

| hora                  | Actividad |
|-----------------------|-----------|
| <b>Aula virtual 4</b> |           |
| 8:00 - 8:15           | MFNA-02   |
| 8:15 - 8:30           | MFNA-03   |
| 8:30 - 8:45           | MFNA-04   |
| 8:45 - 9:00           | MFNA-05   |
| 9:00 - 9:15           | MFNA-06   |
| 9:15 - 9:30           | MFNA-07   |
| 9:30 - 9:45           | MFNA-08   |
| 9:45 - 10:00          | MFNA-10   |
| 10:00 - 10:15         | Descanso  |
| 10:15 - 10:30         | MFNA-11   |
| 10:30 - 10:45         | MFNA-12   |
| 10:45 - 11:00         | MFNA-13   |
| 11:00 - 11:15         | MFNA-14   |
| 11:15 - 11:30         | MFNA-15   |
| 11:30 - 11:45         | MFNA-17   |
| 11:45 - 12:00         | MFNA-18   |
| 12:00 - 12:15         | MFNA-20   |
| 12:15 - 12:30         | MFNA-21   |
| 12:30 - 12:45         | HAMOP-02  |
| 12:45 - 13:00         | HAMOP-03  |
| 13:00 - 14:00         | Almuerzo  |
| 14:00 - 14:15         | TEER-01   |
| 14:15 - 14:30         | TEER-02   |





|               |          |
|---------------|----------|
| 14:30 - 14:45 | CARC-27  |
| 14:45 - 15:00 | CARC-30  |
| 15:00 - 15:15 | CARC-31  |
| 15:15 - 15:30 | CARC-32  |
| 15:30 - 15:45 | CARC-33  |
| 15:45 - 16:00 | CARC-35  |
| 16:00 - 16:15 | Descanso |
| 16:15 - 16:30 | CARC-38  |
|               |          |
| 16:45 - 17:00 | EPSFS-02 |
| 17:00 - 17:15 | EPSFS-03 |

|               |          |
|---------------|----------|
| 14:30 - 14:45 | TEER-03  |
| 14:45 - 15:00 | TEER-04  |
| 15:00 - 15:15 | TEER-05  |
| 15:15 - 15:30 | TEER-06  |
| 15:30 - 15:45 | TEER-07  |
| 15:45 - 16:00 | TEER-09  |
| 16:00 - 16:15 | Descanso |
| 16:15 - 16:30 | TEER-13  |
| 16:30 - 16:45 | ITST-01  |
| 16:45 - 17:00 | ITST-02  |
|               |          |



## VALORIZACIÓN DE RESIDUOS Y ECONOMÍA CIRCULAR (VREC)



## From waste to nanomaterials - Scaling up and Life Cycle Assessment for Carbon Quantum dot Production using agro-industrial residues

Stephania Rosales,<sup>a</sup> Natalia Cano,<sup>b</sup> Karol Zapata,<sup>c</sup> Farid B. Cortés,<sup>d</sup> Agustín F. Pérez-Cadenas,<sup>e</sup> Camilo A. Franco,<sup>f</sup>

<sup>a</sup> *srosalesd@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.*

<sup>b</sup> *nacanol@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.*

<sup>c</sup> *kzapata@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.*

<sup>d</sup> *fbcorres@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.*

<sup>e</sup> *afperez@unal.edu.co, Universidad de Granada, Granada.*

<sup>f</sup> *caafrancoar@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.*

**Palabras clave:** Agro-industrial waste; Circular economy; Life Cycle Assessment; Scale-up.

### Resumen

The development and laboratory-scale application of carbon quantum dots have rapidly expanded across multiple fields. Among the available synthesis routes, a wide variety of precursors have been explored as sources of carbon and heteroatoms, including agro-industrial residues. However, the selection of such complex biomass matrices is often empirical, overlooking their physicochemical composition and metabolite profiles, which could enable a more rational and optimized precursor choice. In this context, the transition toward sustainable nanotechnology requires replacing toxic synthetic precursors with circular economy alternatives. This study presents an integrated approach covering all stages of CQD production, from the characterization of agro-industrial residues generated in southern Colombia to precursor selection, process scale-up, and environmental sustainability assessment. Several fruit by-products (tree tomato, orange, lulo, passion fruit, lemon, and grape) were evaluated using a weighted sum method (WSM) based on physicochemical properties, maturity and acidity (°Brix and pH), and the content of primary (lipids, proteins, sugars) and secondary metabolites (citric acid, ascorbic acid, phenolics, and flavonoids).

Lemon peel was identified as the optimal precursor. CQDs were synthesized via microwave-assisted carbonization under three scenarios: commercial citric acid (CQD-N), lemon biomass (CQD-L), and a hybrid mixture (CQD-LA). The process was successfully scaled up 12.5-fold in volume (from 6 to 75 mL). The resulting CQDs exhibited spherical morphology, sizes below 10 nm, and a mixed graphitic/amorphous carbon core. While the highest synthesis yield was obtained using the pure precursor (74.4%), biomass-derived CQDs showed comparable fluorescence, thermal, and chemical stability. Scale-up demonstrated high reproducibility, with fluorescence intensity variations of less than 6.2% between batches. A *cradle-to-gate* life cycle assessment (LCA) using the ReCiPe 2016 method showed that CQDs derived from lemon waste significantly improved the environmental profile of the process, achieving a negative carbon balance ( $-4.30 \times 10^{-2}$  kg CO<sub>2</sub> eq.) relative to conventional industrial precursors. These results demonstrate that citrus waste valorization for CQD production is technically viable, scalable, and environmentally advantageous, bridging agro-industrial waste management and sustainable nanotechnology.

In the table below is shown the environmental impact assessment of the three scenarios for the synthesis of nanofluids based on scaled-up CQDs used for this study





**Table 1.** Environmental impact assessment of the three scenarios for the synthesis of nanofluids based on scaled-up CQDs.

| Environmental impact category                                          | Scenario 1<br>(NF-N-E) | Scenario 2<br>(NF-LA-E) | Scenario 3<br>(NF-L-E) |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| Climate change, default, excl biogenic carbon [kg CO <sub>2</sub> eq.] | 8,85E-04               | -4,30E-02               | -4,31E-02              |
| Climate change, incl biogenic carbon [kg CO <sub>2</sub> eq.]          | 1,06E-03               | -1,54E-01               | -1,54E-01              |
| Fine Particulate Matter Formation [kg PM 2.5 eq.]                      | 1,45E-06               | 2,95E-05                | 2,96E-05               |
| Fossil depletion [kg oil eq.]                                          | 2,57E-04               | 7,87E-03                | 7,88E-03               |
| Freshwater Consumption [m <sup>3</sup> ]                               | 1,31E-02               | 1,34E-02                | 1,35E-02               |
| Freshwater ecotoxicity [kg 1,4 DB eq.]                                 | 2,68E-05               | 1,58E-03                | 1,58E-03               |
| Freshwater Eutrophication [kg P eq.]                                   | 1,42E-07               | 1,93E-07                | 1,93E-07               |
| Human toxicity, cancer [kg 1,4-DB eq.]                                 | 2,13E-04               | 2,77E-03                | 2,78E-03               |
| Human toxicity, non-cancer [kg 1,4-DB eq.]                             | 6,24E-04               | -7,05E-03               | -7,06E-03              |
| Ionizing Radiation [kBq Co-60 eq. to air]                              | 6,44E-05               | 1,89E-03                | 1,89E-03               |
| Land use [Annual crop eq.·y]                                           | 6,12E-05               | -2,26E-04               | -2,27E-04              |
| Marine ecotoxicity [kg 1,4-DB eq.]                                     | 4,19E-05               | 1,96E-03                | 1,96E-03               |
| Marine Eutrophication [kg N eq.]                                       | 5,07E-08               | -7,48E-05               | -7,49E-05              |
| Metal depletion [kg Cu eq.]                                            | 2,68E-06               | 1,79E-04                | 1,79E-04               |
| Photochemical Ozone Formation, Ecosystems [kg NO <sub>x</sub> eq.]     | 1,86E-06               | 1,60E-05                | 1,60E-05               |
| Photochemical Ozone Formation, Human Health [kg NO <sub>x</sub> eq.]   | 1,78E-06               | 1,52E-05                | 1,52E-05               |
| Stratospheric Ozone Depletion [kg CFC-11 eq.]                          | 1,90E-09               | -9,89E-08               | -9,90E-08              |
| Terrestrial Acidification [kg SO <sub>2</sub> eq.]                     | 3,30E-06               | -6,92E-05               | -6,93E-05              |
| Terrestrial ecotoxicity [kg 1,4-DB eq.]                                | 1,07E-02               | 6,66E-02                | 6,67E-02               |

## Referencias:

Xu, X.; Ray, R.; Gu, Y.; Ploehn, H. J.; Gearheart, L.; Raker, K.; Scrivens, W. A., Electrophoretic analysis and purification of fluorescent single-walled carbon nanotube fragments. *Journal of the American Chemical Society* 2004, 126 (40), 12736-12737.

Rosales, S.; Medina, O. E.; Garzon, N.; Zapata, K.; Taborda, E. A.; Ordóñez, J. C.; Cortés, F. B.; Franco, C. A., Systematic review of carbon quantum dots (CQD): Definition, synthesis, applications and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2025, 219, 115854.

Liu, Y.; Huang, H.; Cao, W.; Mao, B.; Liu, Y.; Kang, Z., Advances in carbon dots: from the perspective of traditional quantum dots. *Materials Chemistry Frontiers* 2020, 4 (6), 1586-1613.

K.; Zhang, Y.; Wang, Y.; Giannelis, E. P.; Zboril, R.; Rogach, A. L., Carbon dots—Emerging light emitters for bioimaging, cancer therapy and optoelectronics. *Nano Today* 2014, 9 (5), 590-603.



# **Evaluación del potencial energético de la conejaza en el dimensionamiento de biodigestores tipo balón, como alternativa frente a sustratos tradicionales.**

Dairo Janover Peña-Cárdenas <sup>a</sup>, Luis Octavio González-Salcedo <sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> *dapenaca@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira*

<sup>b</sup> *logonzalezsa@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira*

**Palabras clave:** Biogás, Biomasa, Economía Circular, Energía Renovable

## **Resumen**

La digestión anaerobia se consolida actualmente como una tecnología fundamental para la valorización energética de residuos pecuarios, aunque su implementación a nivel global se ha centrado mayoritariamente en sustratos convencionales como la porquinaza y la bovinaza (Mignogna et al., 2023). En este contexto, la conejaza surge como un residuo de alta carga orgánica cuyo potencial metanogénico ha sido poco explorado en comparación con otras biomásas. El presente trabajo evalúa dicho potencial mediante el diseño técnico y dimensionamiento de un biodigestor tipo balón para la Granja Mario González Aranda de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Para garantizar la rigurosidad del modelo, la metodología se fundamentó en una fase diagnóstica que identificó una población real de 220 animales (200 gazapos, 16 hembras y 4 machos), los cuales generan una oferta diaria de biomasa de 17,63 kg/día. Siguiendo los criterios de diseño para biodigestores tubulares propuestos por Martí (2019), y considerando una temperatura promedio de 25°C característica de la zona del Valle del Cauca, se determinó un Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) de 22,78 días y una relación de mezcla sustrato-agua de 1:3.

Esta configuración operativa resulta en un volumen de carga diario de 70,56 kg/día, parámetro crítico para asegurar la estabilidad biológica del sistema. Como resultado del dimensionamiento, se estableció un volumen total del biodigestor de 1,96 m<sup>3</sup>, distribuido en 1,51 m<sup>3</sup> para la fase líquida y 0,45 m<sup>3</sup> para la cámara de gas. Un aspecto técnico relevante en el diseño fue la selección de un ancho de rollo comercial de 1,00 m, lo que permitió alcanzar una relación longitud/diámetro (L/D) de 9,53 (L=6,09 m y D=0,64 m), cumpliendo con la recomendación de diseño que sugiere una relación mínima de 7,0 para favorecer el flujo pistón y evitar zonas muertas, Tabla 1. En términos de eficiencia energética, el análisis comparativo indica que la conejaza posee un potencial metanogénico teórico  $F_{bg} = 0,172 \text{ m}^3 \text{ por CH}_4/\text{kg SV}$  ((Hidayat et al., 2021; Teniza-García et al., 2015), similar a la de otros residuos orgánicos de origen animal tradicionales (bovinaza: 0,23 m<sup>3</sup>, porquinaza: 0,25 m<sup>3</sup>, gallinaza: 0,12 m<sup>3</sup>). Esta viabilidad se traduce en una oportunidad clara para la economía circular en pequeñas y medianas granjas, permitiendo la sustitución de fertilizantes sintéticos por el digestato producido y la generación de energía renovable in situ.

**Tabla 1.** Parámetros dimensionales del biodigestor acorde con el ancho comercial del rollo y dimensiones de la zanja para la instalación del biodigestor.

| Ancho [m] | Radio [m] | Área [m <sup>2</sup> ] | Relación L/D |
|-----------|-----------|------------------------|--------------|
| 1,00      | 0,32      | 0,322                  | 9,51         |
| 1,25      | 0,40      | 0,503                  |              |
| 1,50      | 0,48      | 0,724                  | 2,83         |
| 1,75      | 0,56      | 0,985                  | 1,77         |
| 2,00      | 0,64      | 1,288                  | 0,81         |



| Ancho del rollo [m] | a [m] | b [m] | p [m] |  |
|---------------------|-------|-------|-------|--|
| 1,00                | 0,30  | 0,50  | 0,60  |  |
| 1,25                | 0,40  | 0,60  | 0,70  |  |
| 1,50                | 0,50  | 0,70  | 0,80  |  |
| 1,75                | 0,60  | 0,80  | 0,90  |  |
| 2,00                | 0,70  | 0,90  | 1,00  |  |
|                     |       |       |       |  |

Finalmente, se proyecta que la implementación de este modelo no solo optimice la gestión de residuos de la granja, sino que funcione como un aula viva para la validación experimental de parámetros operativos en condiciones reales, consolidando una estrategia de sostenibilidad territorial replicable en contextos rurales y académicos.

## Referencias

- Hidayat, C., Widiawati, Y., Tiesnamurti, B., Pramono, A., Krisnan, R., & Shiddieqy, M. I. (2021). Comparison of methane production from cattle, buffalo, goat, rabbit, chicken, and duck manure. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 648(1), 012112. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/648/1/012112>
- Martí Herrero, J. (2019). *Biodigestores Tubulares: Guía de diseño y manual de instalación*. Quito: Redbiolac
- Mignogna, D., Ceci, P., Cafaro, C., Corazzi, G., & Avino, P. (2023). Production of Biogas and Biomethane as Renewable Energy Sources: A Review. *Applied Sciences*, 13(18), 10219. <https://doi.org/10.3390/app131810219>
- Teniza-Garcia, O., Solis-Oba, M. M., Perez-Lopez, M. E., Gonzalez-Prieto, J. M., & Valencia-Vazquez, R. (2015). Producción de metano utilizando residuos cunícolas. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 14(2), 321–334.





## Pirólisis catalítica de subproductos de la industria del polietileno: Transformación de ceras comerciales en combustibles líquidos

Cristian Piqueras<sup>a\*</sup>, María Volpe<sup>b</sup>, Víctor Sandoval<sup>c</sup>

<sup>a</sup> *cpiqueras@plapiqui.edu.ar, Planta Piloto de Ingeniería Química-Dpto Ingeniería Química, Universidad Nacional del Sur, CONICET, Camino La Carrindanga km 7, 8000, Bahía Blanca, Argentina*

<sup>b</sup> *mara@cyclus.com.ar, Cyclus, Av. Santa Fe 3353, 3ro C, 1425, CABA, Argentina*

<sup>c</sup> *sandovalvictor499@gmail.com, Project Management Advisory Consulting, s/d, Bahía Blanca, Argentina*

**Palabras clave:** ceras de polietileno, pirólisis catalítica, licores de pirólisis, sustentabilidad de procesos

### Resumen

Se llevaron a cabo reacciones de pirólisis catalítica de ceras que son subproducto del proceso de producción de polietileno de baja (PEBD) y alta densidad (PEAD). Se empleó un reactor vertical semicontinuo, con rampa de 10°C/min hasta 500°C y en flujo de nitrógeno. Se empleó alúmina activada térmicamente como catalizador, recuperando el licor a la salida del reactor como productos condensados a 0°C. Los rendimientos a la fase líquida de la cera de PEBD y PEAD fueron del orden de 80.4 y 80.0%, respectivamente y la formación de residuo carbonoso no superó el 17.2% en ambos casos. Los vapores condensados producidos catalíticamente están compuestos principalmente por alcanos (85%) y alquenos (15%), dentro del rango de C7- C24, de acuerdo a análisis cromatográfico. Se concluye sobre la potencialidad de los licores para ser empleados como alimentación de unidades petroquímicas nacionales y de la región.

**Introducción.** La producción industrial de polietileno genera ceras residuales provenientes de polimerizaciones fallidas, las cuales actualmente se gestionan como materiales de descarte de bajo valor agregado. Este trabajo propone la valorización de dichos subproductos mediante pirólisis catalítica para transformarlos en licores compuestos por hidrocarburos líquidos de alto potencial energético. De este modo, se fomenta la sostenibilidad del proceso al reintegrar estos recursos en la cadena productiva nacional y regional.

**Sistema experimental.** El proceso se realizó en un reactor vertical de vidrio Pyrex, equipado con un sistema de arrastre por nitrógeno y control de temperatura mediante termocuplas tipo J. El material polimérico se deposita en el fondo, seguido de anillos de vidrio cuya función es aumentar el tiempo de residencia de los vapores. Por encima se ubica un lecho catalítico de alúmina industrial (25 g) activada térmicamente. Los gases producidos son dirigidos hacia una trampa fría sumergida en hielo a 0°C, rellena con virutas de Teflón para facilitar la condensación de los vapores de pirólisis.

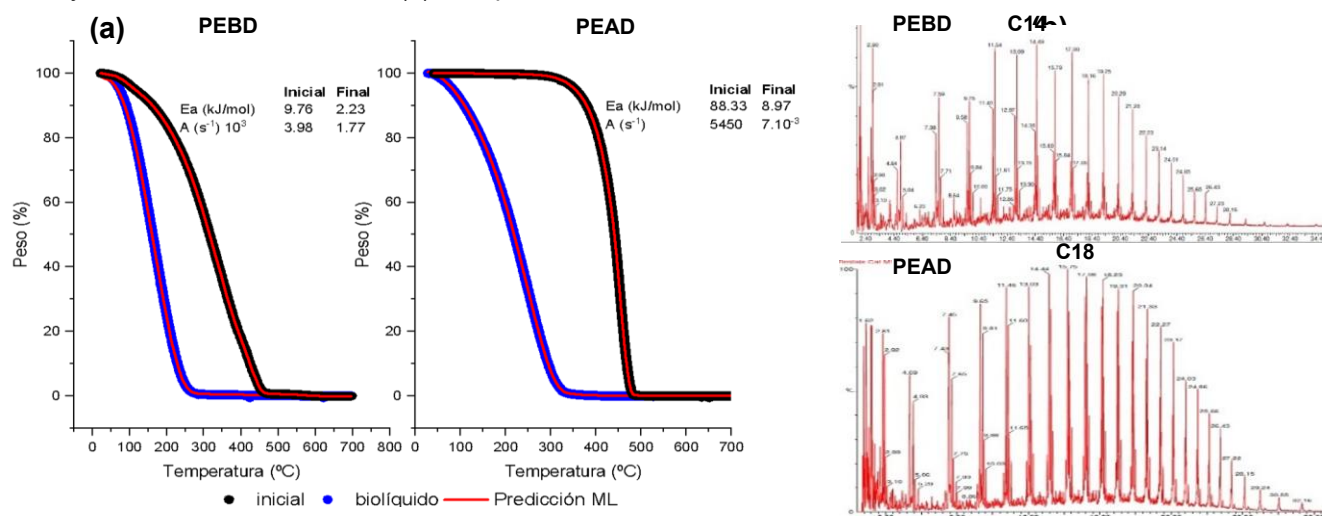
**Resultados y Discusión.** Se realizó un balance de materia en base a la masa inicial de la cera, calculando el rendimiento del licor resultante como la masa de licor condensada en la trampa fría respecto a la masa inicial de cera. Este rendimiento fue del 80.4 y 80.0%, para PEBD y PEAD respectivamente, mientras que la producción de gases no condensables fue de 13.92 y 2.80% para PEBD y PEAD, respectivamente. Los residuos que quedan en el reactor, son compuestos craqueados y restos carbonosos (5.68 y 17.20% para PEBD y PEAD). Los licores y el material de partida se caracterizaron mediante análisis termogravimétrico con la misma rampa de temperatura y el mismo gas Carrier que en la reacción (10°C/min). Los resultados se muestran en la Figura 1, junto con el ajuste llevado a cabo mediante machine learning (ML), efectuando un modelo Deep Neural Network (DNN) de 4 capas con 100, 50, 25 y 10 neuronas en cada capa, con solver Adaptive Moment Estimation, implementado en la librería scikit-learn de Python (Otaru y col, 2026). Con estos datos del ajuste se calculó la energía de activación mediante el método Flynn-Wall-Ozawa (Sakor y col., 2025). Los valores encontrados para las ceras iniciales (88.33 y 9.76 kJ/mol) fueron menores a los correspondientes a un polietileno de alta y de baja densidad comerciales, lo cual se corresponde con ceras



descartadas en procesos intermedios de polimerización. Mientras que los licores reportaron energías de 8.97 y 2.33 kJ/mol para la pirólisis de PEAD y PEBD, respectivamente. La diferencia observada implica una ruptura profunda de las cadenas de PE originales. Sin embargo, el valor de PEBD no corresponderían a una energía de una ruptura de enlaces C-C covalentes, si no que correspondería más a un calor de vaporización de la mezcla de aceites. La composición de los licores se determinó empleando un cromatógrafo de gases acoplado a espectrómetro de masas GC/MS Perkin Elmer, Clarus 500 MS con su software TurboMass y su biblioteca de espectros NIST 14 y se muestran en la Figura 1(b). En la figura se observa la típica distribución de “espina de pescado” donde los compuestos más abundantes son C14 y C18 para PEBD y PEAD, respectivamente, además de observarse que la distribución responde al mecanismo de escisión por medio de radicales libres en el cual se rompe el enlace del carbono-carbono “beta” del final de la cadena y ocurre la transferencia de hidrógeno intramolecular e intermolecular, generando un alcano y alqueno correspondiente como productos, los cuales se aprecian como dobletes en el cromatograma.

**Conclusiones.** El proceso es potencialmente aplicable para la producción de licores que se pueden emplear como alimentación de unidades de craqueo petroquímicas nacionales y de la región. Se destaca este proceso de valorización, ya que estas ceras actualmente se venden como material de descarte de bajo valor agregado.

**Figura 1.** Resultados de caracterización de los licores de pirólisis. (a) Termogravimetría de las muestras de ceras iniciales y de los licores resultantes. (b) Composición mediante GC-MS



## Referencias

- Otaru, A.J., Zaid, A.A., Almithn, A.S., Kovo, A.S., Adeniyi, O.D., (2026) *Industrial Crops and Products*, 241, 122707-122734. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2026.122707>.
- Shakor, Z.M., Tayib, Y.M., AbdulRazak, A.A., Shnain, Z.Y., Al-Shafei, E., (2025) *ACS Omega*. 10, 36750-36770. <https://doi.org/10.1021/acsomega.5c02250>.



## Bioadsorción de colorantes sintéticos en agua con cáscara de pistache (*Pistacia vera* L.)

Adan Maximo Galicia<sup>a</sup>, Dr. José Alfredo Hernández Maldonado<sup>b\*</sup>, Dra. Alba N. Ardila A.<sup>c</sup>, Dra. María Mercedes Salazar Hernández<sup>d</sup>

<sup>a</sup> [amaximog@alumno.ipn.mx](mailto:amaximog@alumno.ipn.mx), Unidad Profesional Interdisciplinaria de ingeniería, Campus Guanajuato, Industrial Puerto Interior Silao de la Victoria. México.

<sup>b\*</sup> [jahernandezma@ipn.mx](mailto:jahernandezma@ipn.mx), Unidad Profesional Interdisciplinaria de ingeniería, Campus Guanajuato, Industrial Puerto Interior Silao de la Victoria. México.

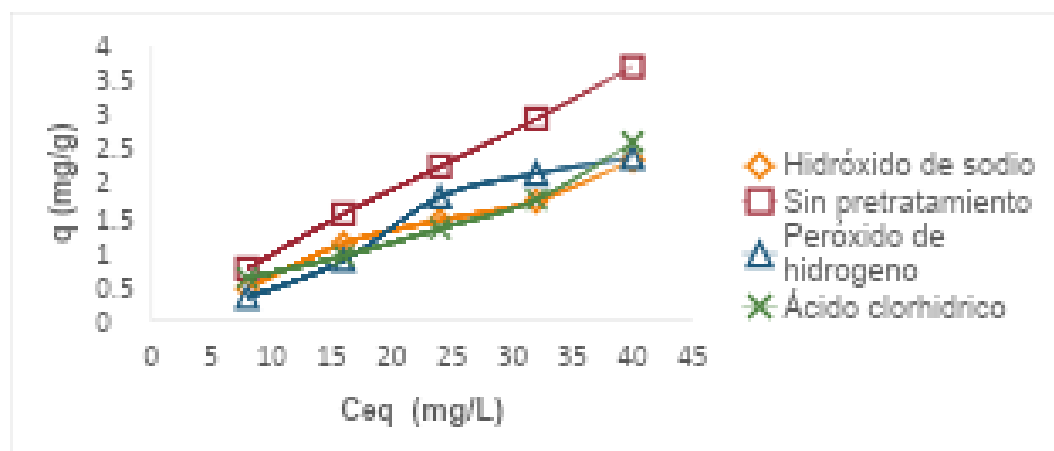
<sup>c</sup> [anardila@elpoli.edu.co](mailto:anardila@elpoli.edu.co), Politécnico Colombiano “Jaime Isaza Cadavid”, Carrera 48, Medellín - Colombia

<sup>d</sup> [merce@ugto.mx](mailto:merce@ugto.mx), División de Ingenierías de la Universidad de Guanajuato, Ex Hacienda San Matías S/N; Colonia San Javier, Guanajuato. México.

**Palabras clave:** Bioadsorción, cáscara de pistache, colorantes sintéticos, valorización de residuos.

### Resumen

La industria química y farmacéutica generan anualmente millones de toneladas de aguas residuales con colorantes sintéticos que, representan un grave riesgo carcinogénico y mutagénico para el ser humano. (Rahman et al., 2018). Debido a la estabilidad química y una alta solubilidad como el rojo de fenol ( $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$ ), rojo Congo ( $C_{19}H_{14}O_5S$ ) y naranja de metilo ( $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$ ), resulta complicado su remoción, por ello, la adsorción representa una alternativa viable por su bajo costo operativo, flexibilidad de diseño y alta eficiencia sin generación de subproductos tóxicos (Rathi & Kumar, 2021). La cáscara de pistache (*Pistacia vera* L.), destaca por su abundancia agroindustrial y bajo costo. Su matriz química es rica en polímeros naturales: celulosa (47.08%), hemicelulosa (26.56%) y lignina (13.74%) (Gutiérrez-Aldana et al., 2025). En esta investigación, la cascará se molió y tamizó para ser sometida a pretratamientos químicos (ácido, básico y sin tratamiento) para evaluar su capacidad de adsorción frente a diversas concentraciones de colorantes bajo agitación constante. En la Figura 1 se presentan las isotermas de adsorción de Rojo Congo, donde se presentaron los mayores porcentajes de remoción y se comparando las capacidades de adsorción tras los distintos pretratamientos. Además, para análisis del mecanismo de adsorción se evaluaron seis modelos de isotermas mediante regresión no lineal a 30 °C sin tratamiento, los datos se sintetizan en la tabla 1.





**Figura 1.** Isoterma de adsorción de rojo Congo sobre cáscara de pistache: comparación de la capacidad en el equilibrio ( $q_e$ ) vs. concentración residual ( $C_e$ ) con los pretratamientos y muestra natural a 45 °C.

El modelo de Temkin presentó el mejor ajuste según coeficientes de determinación. El valor de la energía libre media de adsorción obtenido en la isoterma de Dubinin- Radushkevich fue inferior a 8 kJ/mol, estableciendo que el mecanismo predominante es la fisisorción, mediada por fuerzas de Van der Waals. Asimismo, los parámetros de Freundlich ( $n = 1.142$ ) y Sips ( $n_s = 1.951$ ) indican una superficie energéticamente heterogénea con una adsorción cooperativa y disponibilidad de sitios activos.

**Tabla 1.** Parámetros de las isotermas de adsorción de dos y tres parámetros para el sistema Rojo Congo/Cáscara de pistache (*Pistacia vera* L.) a 30 °C.

| Isoterma              | Constantes                     |                                             |                           | $R^2$ |
|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------|-------|
| Langmuir              | $q_o = 16.924 \text{ mg/g}$    | $K_L = 0.105 \text{ L/mg}$                  | ---                       | 0.954 |
| Freundlich            | $K_F = 1.584 \text{ mg/g}$     | $n = 1.142$                                 | ---                       | 0.947 |
| Temkin                | $A_T = 2.234 \text{ L/mg}$     | $\beta = 2.048 \text{ J/mol}$               | ---                       | 0.983 |
| Sips                  | $q_{ms} = 4.649 \text{ mg/g}$  | $k_s = 0.52 \text{ (L/mg)}^{n_s}$           | $n_s = 1.951$             | 0.976 |
| Redlich–Peterson      | $K_{RP} = 1.778 \text{ L/g}$   | $a_{RP} = 0.105 \text{ (L/mg)}^n$           | $g = 1$                   | 0.924 |
| Dubinin- Radushkevich | $K_{mD-R} = 0.32 \text{ mg/g}$ | $q_{mD-R} = 4.392 \text{ mol}^2/\text{J}^2$ | $E = 1.25 \text{ kJ/mol}$ | 0.976 |

## Referencias:

Gutiérrez-Aldana, N., Arzate-Vázquez, I., & Méndez-Méndez, J. V. (2025). Cáscaras de pistache: materia prima para el diseño de nuevos materiales biocompuestos. Desde El Herbario CICY, 17, 153–159. [http://www.cicy.mx/sitios/desde\\_herbario/](http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/)

Rahman, Dafader, Miah, & Shahnaz. (2018). Efficient removal of methyl orange from aqueous solution using amidoxime adsorbent. International Journal of Environmental Studies. <https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1494930>

Rathi, B. S., & Kumar, P. S. (2021). Application of adsorption process for effective removal of emerging contaminants from water and wastewater. Environmental Pollution, 280, 116995. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116995>



## Comportamiento de estructuras cerámicas en reacciones de revalorización de biomasa

Jesús A. Mizger Ortega<sup>a\*</sup>, Inés S. Tiscornia<sup>b</sup>, Soledad G. Aspromonte<sup>c</sup>

<sup>a\*</sup> [jmizger@ful.unl.edu.ar](mailto:jmizger@ful.unl.edu.ar), INCAPE-FIQ (CONICET-UNL), Santa Fe, Argentina.

<sup>b</sup> [itiscornia@fiq.unl.edu.ar](mailto:itiscornia@fiq.unl.edu.ar), INCAPE-FIQ (CONICET-UNL), Santa Fe, Argentina.

<sup>c</sup> [saspromonte@fiq.unl.edu.ar](mailto:saspromonte@fiq.unl.edu.ar), INCAPE-FIQ (CONICET-UNL), Santa Fe, Argentina.

**Palabras clave:** Espumas catalíticas, glucosa, circonia, regeneración

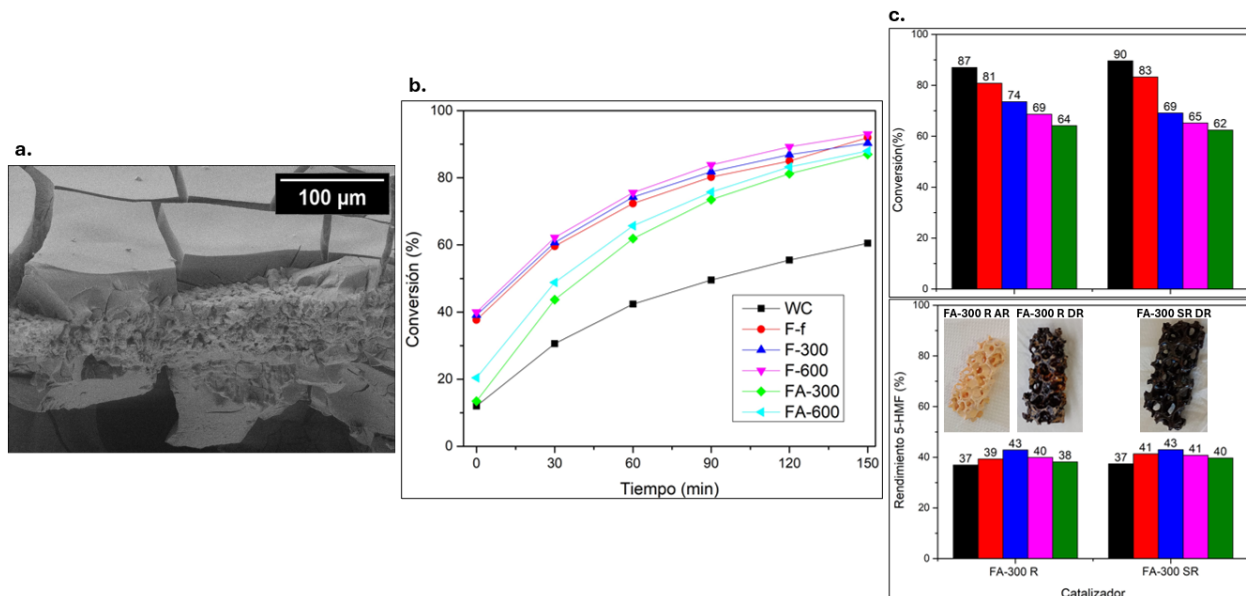
### Resumen

La glucosa es considerada uno de los monómeros más abundantes y económicos, siendo además un intermediario versátil para la producción de 5-hidroximetilfurfural (5-HMF), ácido láctico y ácido levulínico. En la conversión catalítica, la glucosa puede isomerizarse a fructosa y seguidamente deshidratarse a 5-HMF, o transformarse directamente en 5-HMF, obteniéndose subproductos como ácido láctico y fórmico. En el transcurso de la reacción en medio acuoso, el 5-HMF puede rehidratarse formando huminas afectando el rendimiento del producto principal. Por lo que, la síntesis del catalizador es fundamental para reducir las reacciones indeseadas (Tang et al., 2025). En particular, la alúmina se ha utilizado como soporte y catalizador debido a su gran área superficial y capacidad de adsorber reactivos en sitios básicos, mientras que la circonia, con un uso ampliamente demostrado, presenta buena estabilidad térmica y química. En este trabajo se utilizaron espumas cerámicas de circonia fresca (F-f) y calcinada a 300 y 600 °C (F-300, F-600) y espumas de circonia con alúmina y calcinada a 300 y 600 °C (FA-300, FA-600) como catalizadores estructurados. Estos materiales son fáciles de recuperar y regenerar en varios ciclos de reacción. Además, presentan gran resistencia a condiciones extremas de temperatura, presión y agitación, favoreciendo procesos de transferencia de masa (Chava et al., 2023).

Las espumas fueron cortadas en forma de ortoedro (0,8 x 1,0 x 3,0 cm). La incorporación de alúmina se llevó a cabo mediante la técnica de washcoating, sumergiendo las espumas en Nyacol AL20DW y posteriormente secadas a 120 °C por 4 h, repitiendo el ciclo inmersión-soplado-secado hasta una carga de 250 mg. Los catalizadores fueron calcinados en mufla a 300 y 600 °C y se caracterizaron con FRX, FTIR, SEM, DRX, TCX y TGA. La reacción se llevó a cabo en un reactor discontinuo agitado con una solución de glucosa 6000 mg/L a 180 °C y 30 atm N<sub>2</sub>, con agitación constante a 1000 rpm. Se extrajeron alícuotas que fueron analizadas por HPLC con una columna de intercambio iónico Carbomix H-NP10, un detector UV-Vis e índice de refracción (IR).

En la morfología de la superficie de la espuma impregnada (Figura 1a) se aprecia la capa de alúmina depositada de manera uniforme al estructurado. La rugosidad que presenta la espuma promueve la adhesión de la alúmina, mientras que las fisuras generadas por el tratamiento térmico no comprometen la capa, alcanzando ésta un espesor de aproximadamente 3  $\mu$ m.





**Figura 1.** a) SEM, b) Conversión de glucosa y c) Conversión y rendimiento en 5 ciclos de reacción.

Los materiales estructurados mostraron mejor comportamiento catalítico respecto a la reacción autotérmica sin catalizador WC (Figura 1b). Por otro lado, no se observan diferencias significativas entre tales estructuras, lo que sugiere que la incorporación de alúmina no influye en la actividad catalítica de la circonia, preservando su desempeño y protagonismo en la conversión hidrotérmica de glucosa (Zhang et al., 2020). Además, los resultados revelaron la baja influencia del tratamiento térmico ejercido sobre ambos grupos de espumas (F, FA). Conforme la reacción avanza se aprecia la deposición de huminas en el catalizador estructurado (Xu et al., 2020). Se seleccionó el material FA-300 para realizar estudios de regeneración (R y SR, con y sin regeneración) antes y después de reacción (AR, DR). Luego de cinco ciclos de reacción, la conversión de glucosa se mantiene por encima del 60 % para ambos materiales, mientras que el rendimiento de 5-HMF muestra un valor promedio del 40 %, lo que sugiere que la deposición de huminas no inhibe la producción de 5-HMF (Figura 1c).

Se puede concluir que el uso de catalizadores estructurados permite la obtención de compuestos químicos de valor agregado. En particular, la posible reutilización en diferentes ciclos de reacción sin la necesidad de recurrir a etapas de separación sólido-líquido, filtración o centrifugación.

El trabajo continuará con el uso de biomasa real, en particular, almidón comercial marca maizena® y almidón de trigo, extraído como residuo de la industria alimenticia. También se prevé utilizar espumas de composiciones diferentes, por ejemplo, carburo de silicio.

## Referencias

- Tang, Z., Liang, J., & Su, J. (2025). *Applied Catalysis A: General*, 696, 120184. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2025.120184>
- Chava, R., Mahta, H., Roy, B., & Appari, S. (2023). *Materials Today: Proceedings*, 76, 393-397. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.468>
- Xu, Z., Yang, Y., Yan, P., Xia, Z., Liu, X., & Zhang, Z. C. (2020). *RSC Advances*, 10(57), 34732-34737. <https://doi.org/10.1039/D0RA05641C>
- Zhang, W., Zhu, Y., Xu, H., Gaborieau, M., Huang, J., & Jiang, Y. (2020). *Catalysis Today*, 351, 133-140. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2018.10.002>



## Catalizadores preparados a partir de residuos vegetales postcosecha: aplicación en la síntesis de levulinato de butilo en reacciones asistidas por microondas.

Andrés F. Monroy<sup>a\*</sup>, Valeria Palermo<sup>b</sup>, Ángel G. Sathicq<sup>c</sup>, José F. Bengoa<sup>d</sup>, José J. Martínez<sup>e</sup>, Gustavo P. Romanelli<sup>f</sup>.

<sup>a</sup> andresmonroy@quimica.unlp.edu.ar, Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas “Dr. Jorge J. Ronco” (CINDECA, CONICET—CIC-PBA—UNLP), La Plata, Argentina.

<sup>b</sup> vpalermo@quimica.unlp.edu.ar, Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas “Dr. Jorge J. Ronco” (CINDECA, CONICET—CIC-PBA—UNLP), La Plata, Argentina.

<sup>c</sup> agsathicq@quimica.unlp.edu.ar, Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas “Dr. Jorge J. Ronco” (CINDECA, CONICET—CIC-PBA—UNLP), La Plata, Argentina.

<sup>d</sup> bengoaif@quimica.unlp.edu.ar Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas “Dr. Jorge J. Ronco” (CINDECA, CONICET—CIC-PBA—UNLP), La Plata, Argentina.

<sup>e</sup> jose.martinez@uptc.edu.co, Escuela de Ciencias Químicas, Facultad de Ciencias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, Avenida Central del Norte, vía Paipa, Tunja, Boyacá, Colombia

<sup>f</sup> gpr@quimica.unlp.edu.ar, Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas “Dr. Jorge J. Ronco” (CINDECA, CONICET—CIC-PBA—UNLP), La Plata, Argentina.

**Palabras clave:** Valorización de residuos, ácido levulínico, catálisis heterogénea, levulinatos de alquilo

### Resumen

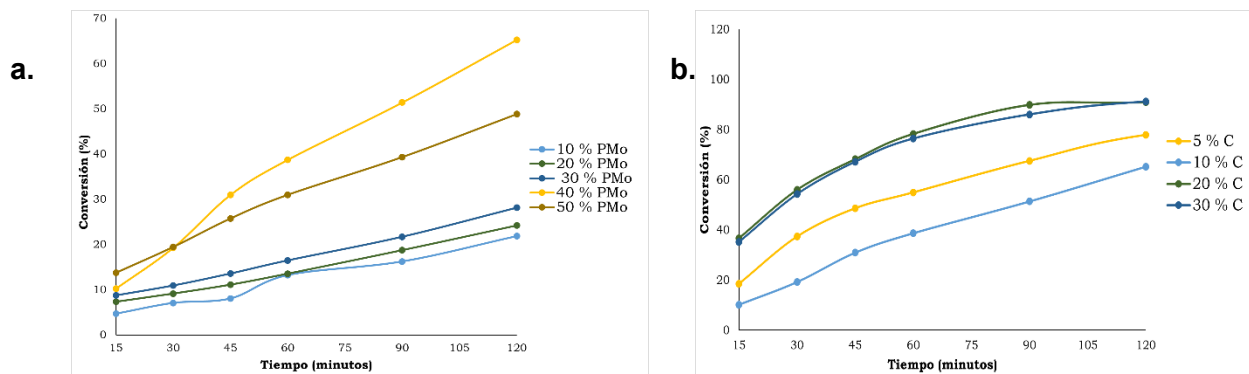
Se propone la síntesis de catalizadores  $\text{SiO}_2\text{--C--PMo}$  con propiedades ácidas, donde el ácido fosfomolibdico (PMo) actúa como fase activa incorporada en una matriz silíceas con materiales carbonosos (C) que fueron obtenidos mediante tratamiento térmico de residuos agropecuarios del cinturón hortícola de La Plata. Los catalizadores se prepararon con diferentes proporciones de carbón y heteropoliácido. Estos materiales se evaluaron en la valorización del ácido levulínico mediante la síntesis de levulinato de butilo. Los levulinatos de alquilo tienen aplicaciones en las industrias alimentaria, farmacéutica y química. En particular, los levulinatos de etilo y n-butilo se emplean como aditivos en mezclas diésel–biodiésel.

Se prepararon catalizadores ácidos haciendo uso de residuos de tomate, los cuales se cortaron en trozos pequeños, se lavaron con etanol y se sometieron al siguiente tratamiento térmico: se carbonizaron a 550 °C durante 2 h en atmósfera de nitrógeno (con una velocidad de calentamiento de 10°/min y un caudal de  $\text{N}_2$  de 50  $\text{cm}^3/\text{min}$ ) y se molieron (C). Posteriormente, se añadió C durante la síntesis de sílice mediante el método sol-gel a temperatura ambiente: se mezclaron tetraetoxisilano (TEOS, 6.8 ml, 0.03 mol) y etanol absoluto (6 ml, 0.1 mol) en una cápsula de teflón. A continuación, se añadió una solución de ácido fosfomolibdico (PMo) (300 mg,  $1.5 \times 10^{-4}$  mol) en etanol absoluto (2.7 ml, 0.03 mol), agua (2 ml, 0.1 mol) y C (200 mg) y se agitó hasta obtener un sol-gel seco. De este modo, se obtuvo  $\text{SiO}_2\text{--C--PMo}$  (10% C- 10% PMo). Asimismo, se prepararon sólidos variando las cantidades de C (5, 10, 20, 30%) y PMo (10, 20, 30 y 40%).

Los catalizadores preparados se evaluaron en la reacción de esterificación del ácido levulínico en un equipo de microondas Anton Paar Monowave 400 a 100 °C durante 120 minutos y 600 rpm (Figura 1 a y b).







**Figura 1.** Conversión a levulinato de butilo utilizando el catalizador SiO<sub>2</sub>-C-PMo hasta 120 min. **a.** Diferentes cantidades de PMo (SiO<sub>2</sub>- 10% C- X% PMo). **b.** Diferentes cantidades de C (SiO<sub>2</sub>- X% C- 40% PMo).

Las Figuras 1a y 1b muestran que la actividad del catalizador SiO<sub>2</sub>-C-PMo depende de la proporción entre PMo y el soporte carbonoso (C). La conversión máxima se obtiene con 40% de PMo, mientras que a cargas mayores la actividad disminuye, posiblemente por la generación de agregados y bloqueo de poros, disminuyendo la accesibilidad a los sitios ácidos. Asimismo, un mayor contenido de carbón (20–30%) mejora las propiedades texturales del soporte y la dispersión de la fase activa, favoreciendo la formación de levulinato de butilo (Gautam *et al.*, 2022; Pasquale *et al.*, 2012).

Aunque no se observan diferencias relevantes en la conversión entre los catalizadores con 20% y 30% de carbón, el material con 20% de C y 40% PMo se considera más conveniente, ya que este material mostró un menor porcentaje de lixiviación (1%) respecto al que contiene mayor cantidad de C. Además, el catalizador SiO<sub>2</sub>-C-PMo (20% C- 40% PMo) en la esterificación para producir levulinato de butilo durante varios ciclos de reutilización muestra una alta actividad inicial, alcanzando cerca del 97% de conversión a los 120 min, aunque la conversión disminuye progresivamente en los reusos posteriores, 87%, 63% y 47% en los reusos, 1, 2 y 3, respectivamente. Esta pérdida de actividad podría estar asociada a lixiviación de la fase activa, bloqueo de poros o desactivación de sitios ácidos, aunque el sistema mantiene una estabilidad catalítica moderada tras varios ciclos (Hassan *et al.*, 2022).

## Referencias

- Gautam, P., Barman, S., & Ali, A. (2022). A comparative study on the performance of acid catalysts in the synthesis of levulinate ester using biomass-derived levulinic acid: a review. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 16(4), 1095–1115. <https://doi.org/10.1002/bbb.2351>
- Hassan, A. H., Zainol, M. M., & Zainuddin, K. R. (2022). A Review on Alkyl Levulinates Synthesis from Renewable Levulinic Acid using Various Modified Carbon-Based Catalysts. *Malaysian Journal of Chemistry*, 24(2), 264–282.
- Pasquale, G., Vázquez, P., Romanelli, G., & Baronetti, G. (2012). Catalytic upgrading of levulinic acid to ethyl levulinate using reusable silica-included Wells-Dawson heteropolyacid as catalyst. *Catalysis Communications*, 18, 115–120. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2011.12.004>



# Co-producción de ácidos láctico y glicólico a partir de azúcares derivados de biomasa usando catalizadores ZnO-ZrO<sub>2</sub>

Federico A. Piovano<sup>1\*</sup>, Facundo C. Herrera<sup>2</sup>, Soledad G. Aspromonte<sup>1</sup>, Galo Soler-Illia<sup>3</sup>, Alicia V. Boix<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe (Sta Fe) \* [fpiovano@fiq.unl.edu.ar](mailto:fpiovano@fiq.unl.edu.ar) <sup>2</sup>Laboratorio Argentino de Haces de Neutrones, Comisión Nacional de Energía Atómica, Ezeiza (Bs As) <sup>3</sup>Instituto de Nanosistemas, Universidad Nacional de San Martín, San Martín (Bs As)

**Palabras clave:** hemicelulosa, xilosa, óxidos mesoporosos, síntesis sol-gel

## Resumen

La biomasa lignocelulósica constituye una de las fuentes renovables más abundantes para la producción de químicos y combustibles sostenibles. Uno de sus componentes principales, la hemicelulosa, es rica en azúcares C5 como la xilosa y su valorización hacia productos de mayor valor agregado representa un desafío clave en el desarrollo de biorrefinerías (Piovano et al., 2024). La conversión hidrotérmica catalizada de xilosa en hidroxiácidos como el láctico y glicólico fue extensamente estudiada por nuestro grupo (Piovano et al., 2025). Su selectividad está limitada por una red compleja de reacciones acopladas que incluye isomerización, ruptura retro-aldólica, deshidratación y oxidación, compitiendo con rutas paralelas hacia furfural y huminas (Dusselier et al., 2014). En este contexto, el diseño racional de catalizadores con propiedades ácido-base balanceadas resulta fundamental para direccionar la reacción.

En este trabajo se evaluaron catalizadores mesoporosos ZnO–ZrO<sub>2</sub> con distintas relaciones Zn/(Zr+Zn) en la conversión de xilosa en fase acuosa. Los catalizadores fueron sintetizados via sol-gel usando el método EISA (autoensamblaje inducido por evaporación), con Pluronic F127 como template estructurante, y cloruro de Zn y propóxido de Zr como precursores metálicos. Finalmente, los materiales fueron calcinados a 450 °C y se evaluaron en forma de polvo en un reactor discontinuo agitado, detectando los reactivos y productos mediante HPLC.

Los resultados de la Tabla 1 muestran el área superficial ( $S_{BET}$ ) obtenida por sortometría de N<sub>2</sub>, la densidad de sitios ácidos ( $A_S$ ) y la relación entre sitios básicos y ácidos ( $B_S/A_S$ ) estimadas por titulación potenciométrica directa e indirecta con KOH. Además, se presenta la conversión de xilosa (6 g/L) y el rendimiento másico conjunto hacia ácido láctico y glicólico en reacción a 170 °C durante 60 min. Se observa que la selectividad aumenta proporcionalmente al área superficial y la cantidad de sitios ácidos, con una relación óptima de sitios básicos/ácidos igual a 2. Estas propiedades se encuentran estrechamente relacionadas con el contenido de Zn y alcanzan su máximo para una relación molar Zn/(Zr+Zn) igual a 1/3.

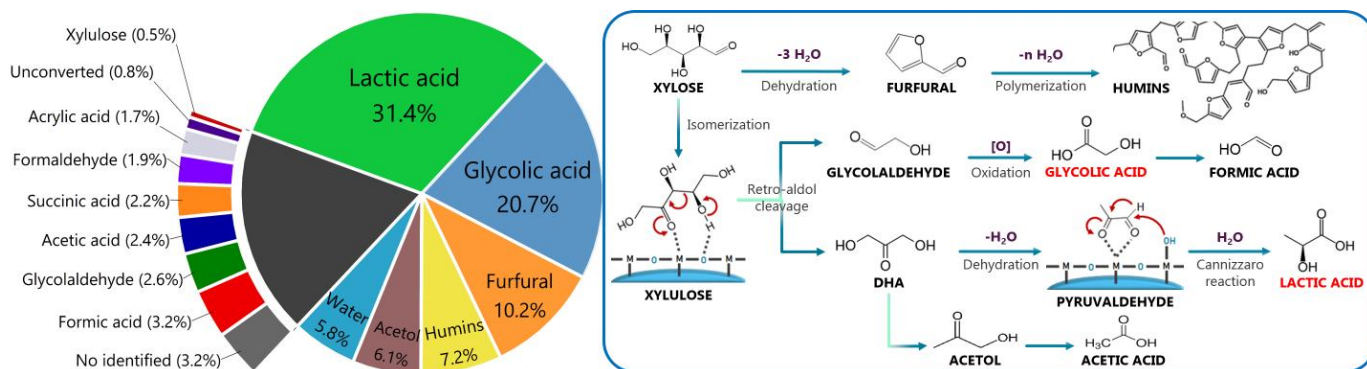
**Tabla 1.** Propiedades y evaluación catalítica de los materiales con distintos contenidos de Zn.

| Zn/(Zr+Zn)<br>) | $S_{BET}$ (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ) | $A_S$ (mmol/g) | $B_S/A_S$ | X (%) | $Y_P$ (%) |
|-----------------|---------------------------------------------|----------------|-----------|-------|-----------|
| 0               | 60                                          | 0.125          | 0.8       | 70.7  | 11.7      |
| 1/4             | 122                                         | 0.784          | 1.5       | 96.7  | 35.0      |
| 1/3             | 131                                         | 1.018          | 2.0       | 99.3  | 44.9      |
| 1/2             | 118                                         | 0.787          | 2.1       | 99.2  | 38.8      |
| 1               | 85                                          | 0.407          | 1.7       | 98.6  | 35.7      |



La distribución de productos para el catalizador con  $Zn/(Zr+Zn) = 1/3$  muestra una selectividad hacia ácido láctico y glicólico mayor al 50% cuando la solución inicial de xilosa es 3 g/L (Figura 1). Los productos secundarios son furfural, huminas (determinado por termogravimetría sobre el catalizador gastado), acetol, ácido fórmico y otros minoritarios como ácido acético y succínico. El mecanismo de reacción propuesto (Figura 1) consiste en dos rutas principales de conversión de la xilosa: (i) deshidratación directa a furfural y posterior polimerización a huminas, favorecida por sitios ácidos moderados y fuertes, e (ii) isomerización seguida de ruptura retro-aldólica, que genera intermediarios como glicolaldehído y dihidroxiacetona, precursores de los ácidos glicólico (por oxidación) y láctico (vía deshidratación y desproporción intramolecular).

El balance ácido–base del catalizador resultó determinante en la selectividad. La relación óptima  $Zn/(Zn+Zr) = 1/3$  promueve la ruptura C–C necesaria para la formación de los hidroxiácidos.



**Figura 1.** Izquierda: distribución de productos obtenidos en reacción a 170 °C, 60 min, 20 atm de  $N_2$  a partir de xilosa (3 g/L) usando el catalizador  $Zn/(Zr+Zn) = 1/3$ . Derecha: mecanismo propuesto de reacción.

## Referencias:

- Dusselier, M., Mascal, M., & Sels, B. F. (2014). *Top Chemical Opportunities from Carbohydrate Biomass: A Chemist's View of the Biorefinery* (pp. 1–40). [https://doi.org/10.1007/128\\_2014\\_544](https://doi.org/10.1007/128_2014_544)
- Piovano, F., Aspromonte, S., Gross, M., Bergamini, C., & Boix, A. (2024). Optimizing lactic acid production for agricultural wastes revalorization via sugars hydrothermal conversion with zirconia-based catalysts: response surface methodology. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(14), 15563–15585. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03650-3>
- Piovano, F., Gómez, L., Retamar, L., Boix, A., & Aspromonte, S. (2025). Catalytic aqueous-phase conversion of sugars and biomass to hydroxy acids: Role of weak acid sites on zirconia-supported metal oxides. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(6), 120423. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.120423>



# **Estimación del potencial energético de residuos de biomasa lignocelulósica provenientes de actividades económicas en comunidades rurales de la ribera del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México.**

**Octavio-Alejandro Castillo-Tera<sup>a</sup>, Rutiaga-Quñones José-Guadalupe<sup>b</sup>, Mario Morales-Máximo<sup>c\*</sup>**

<sup>a</sup> *octavio.castillo@uiim.edu.mx, Universidad Intercultural Indígena de Michoacán, Pátzcuaro.*

<sup>b</sup> *jose.rutiaga@umich.mx, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.*

<sup>c\*</sup> *mario.morales@uiim.edu.mx, Universidad Intercultural Indígena de Michoacán, Pátzcuaro*

**Palabras clave:** Biocombustibles, Pátzcuaro, Bioenergía, Biomasa.

## **Resumen**

En la actualidad existe una alta dependencia de los combustibles fósiles que generan impactos durante su disposición, por ello se buscan alternativas para satisfacer las necesidades energéticas, en este sentido la biomasa lignocelulósica adquiere mayor relevancia al ser una fuente general y renovable. El objetivo de este trabajo es estimar el potencial energético de residuos de biomasa lignocelulósica generada en la ribera del Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México mediante un análisis energético. La metodología propuesta consiste en un análisis proximal, este fue realizado por triplicado utilizando biomasa en base anhidra con un tamaño de partícula 425 µm, los resultados se pueden ver en la Tabla 1, el contenido de material volátil (MV) % se calculó de acuerdo con el estándar ASTM D7582-12, el contenido de cenizas (CZ) % mediante la norma UNE-EN 14775, el carbono fijo (CF) % se calcula por diferencia, restando del 100% el contenido de cenizas (CZ) y volátiles (García et al., 2012) ecuación (1).

$$CF = 100 - MV - C \quad (1)$$

El alto valor calorífico (HHV) se calculó mediante el modelo matemático usado en biomasa (Cordero et al., 2001), que es la relación de FC% y MV % como se muestra en la ecuación (2).

$$HHV = 0.3543FC + 0.1708 MV \quad (2)$$

El potencial energético (PE), expresado en TJ/año se calculó mediante la relación entre la masa de residuo seco (Mrs) en toneladas (Tn) y la energía por unidad de masa (E) MJ/kg (Serrato Monrroy & Lesmes Cepeda, 2016), ecuación (3).

$$PE = Mrs \times E \quad (3)$$

**Tabla 1.** Alto poder calorífico en residuos de biomasa lignocelulósica.

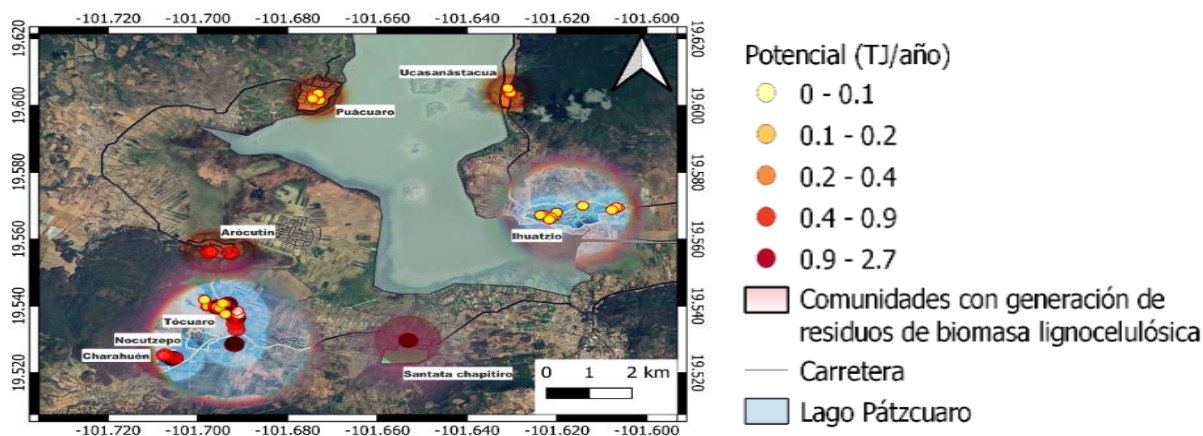
| Muestra    | Materia Volátil (%) | Cenizas (%)   | Carbono Fijo (%) | Alto poder calorífico (MJ/kg) |
|------------|---------------------|---------------|------------------|-------------------------------|
| Aguacate   | 74.79 (±0.48)       | 0.86 (±0.005) | 24.34 (±0.47)    | 21.39 (±0.08)                 |
| Cedro rojo | 72.19 (±0.57)       | 1.61 (±0.03)  | 26.19 (±0.58)    | 21.61 (±0.11)                 |
| Chuspata   | 68.22 (±0.79)       | 6.98 (±0.08)  | 24.78 (±0.72)    | 20.43 (±0.12)                 |
| Copalillo  | 69.75 (±0.71)       | 5.04 (±0.25)  | 25.20 (±0.96)    | 20.84 (±0.21)                 |
| Parota     | 72.03 (±0.63)       | 2.11 (±0.12)  | 25.85 (±0.75)    | 21.46 (±0.16)                 |
| Pino       | 76.85 (±0.81)       | 0.69 (±0.04)  | 22.44 (±0.82)    | 21.07 (±0.15)                 |
| Rastrojo   | 66.15 (±0.69)       | 9.67 (±0.25)  | 24.16 (±0.43)    | 19.86 (±0.03)                 |

La cuantificación de residuos se realizó mediante trabajo de campo, considerando una muestra representativa del 30% a partir de un diagnóstico energético regional. Se estimó la generación de residuos





por unidad productiva Figura 1. Los resultados indican variaciones significativas en la generación de residuos y potencial energético entre comunidades. Destacan Ihuatzio con 2.66 TJ/año, Tócuaro con 0.963 TJ/año y Nocutzepo con 3.28 TJ/año, esta última considerando residuos agrícolas. Otras comunidades como Santa Ana Chapitiro 0.416 TJ/año, Ex Hacienda de Charahuén 0.316 TJ/año, Arocutín 0.055 TJ/año, Ucasanastacua 0.036 TJ/año y Puácuaro 0.051 TJ/año, aunque presentan contribuciones menores siguiendo, siendo relevantes a escala local. En conjunto, el potencial energético estimado asciende a 7.7 TJ/año.



**Figura 1.** Potencial energético de la generación de residuos de biomasa lignocelulósica.

Se observa la concentración energética que permitirá trazar rutas en la recolección de residuos. Así mismo, el potencial representa una fuente complementaria de energía renovable. Ya que los residuos generados en de la región poseen altos valores caloríficos para ser aprovechados, y mediante estos se podría contribuir a estrategias de diversificación de la matriz energética local.

## Referencias.

Cordero, T., Marquez, F., Rodriguez-Mirasol, J., & Rodriguez, J. J. (2001). Predicting heating values of lignocellulosics and carbonaceous materials from proximate analysis. *Fuel*, 80(11), 1567–1571.

García, R., Pizarro, C., Lavín, A. G., & Bueno, J. L. (2012). Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. *Bioresource Technology*, 103(1), 249–258. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2011.10.004>

Serrato Monrroy, C., & Lesmes Cepeda, V. (2016). *Metodología para el Cálculo de energía extraída a partir de la biomasa en el departamento de Cundinamarca*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Standard, A. S. T. M. (2013). Standard Test Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke by Macro Thermogravimetric Analysis. *ASTM International West Conshohocken, Pa, USA*.

UNE-EN 14775, “Biocombustibles sólidos,” in *Método para la determinación del contenido de cenizas*, AENOR., Asociación Española de Normalización y Certificación, Ed., Madrid, España, 2010, p 10



## De residuo a recurso: Desarrollo local sustentable y fortalecimiento de la cadena de valor de residuos maderables de *Pinus* spp., en San Fco. Pichátaro Michoacán México a través de biocombustibles sólidos.

Mario Morales-Máximo<sup>a</sup>, José Guadalupe Rutiaga-Quñones<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> mmoralesmaximo@gmail.com, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de Nicolás de Hidalgo, Francisco J. Mújica SN, Ciudad Universitaria, Morelia 58040, Michoacán, México

<sup>b</sup> jose.rutiaga@umich.mx, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de Nicolás de Hidalgo, Francisco J. Mújica SN, Ciudad Universitaria, Morelia 58040, Michoacán, México

**Palabras clave: Biomasa, Bioenergía, Biocombustibles sólidos, Pichátaro**

### Resumen

La siguiente investigación, presenta una opción sostenible para la gestión de residuos maderables de *Pinus* spp. (aserrín y viruta) de la industria mueblera de San Francisco Pichátaro, Michoacán en México. Se propone la densificación mecánica de residuos, con agua y un aglutinante para la obtención de briquetas en forma cilíndrica de un tamaño de 7.2 cm de diámetro por 8.5 de longitud en promedio, con un peso aproximado de 0.25 gramos y una humedad final de 13.5%. Los resultados demuestran un potencial energético alto con un poder calorífico que compite entre 17.52 y 18.12 MJ/Kg. Considerando su uso ambiental, se emiten menos gases de efecto invernadero (87 g CO<sub>2</sub>/MJ comparado con los 108 g CO<sub>2</sub>/MJ de la madera convencional) y menos material particulado fino.

En la comunidad rural de San Francisco Pichátaro, Michoacán, la industria del mueble artesanal genera grandes cantidades de residuos de madera, principalmente aserrín y viruta de pino, que actualmente carecen de valor comercial. Se estima una producción anual de 3.5 toneladas de aserrín y 5.4 toneladas de viruta, lo que representa un volumen significativo con potencial de aprovechamiento (Morales-Máximo, 2019). La implementación de este biocombustible alternativo optimiza la gestión energética en Pichátaro, beneficiando directamente a 5,800 habitantes que dependen históricamente del consumo de leña local. Esta transición no solo mitiga la degradación forestal, sino que eleva la calidad de vida doméstica. Dada su viabilidad técnica, el proyecto es altamente escalable hacia comunidades circundantes con condiciones socioeconómicas análogas y acceso restringido a combustibles tradicionales. Así, la iniciativa se consolida como una solución replicable que fortalece la seguridad energética regional y atiende a poblaciones vulnerables bajo un esquema de sostenibilidad ambiental. Este trabajo propone transformar dichos residuos en biocombustibles sólidos mediante la producción de briquetas, convirtiendo así un desecho en un recurso útil. Las briquetas se elaboran mezclando aserrín o viruta con agua y fécula de maíz como aglutinante; posteriormente, la mezcla se comprime en moldes y se deja secar al sol durante 2 a 4 días. El producto final tiene forma cilíndrica y presenta un poder calorífico que oscila entre 17.52 y 18.12 MJ/kg, comparable al de la leña tradicional (Morales-Máximo & Rutiaga-Quñones, 2025). Desde el punto de vista ambiental, las briquetas representan una alternativa más limpia. En pruebas realizadas en fogones tradicionales (Veáse Figura 1), se midió las emisiones de dióxido de carbono de la madera (108 g CO<sub>2</sub>/MJ) son mayores que las de las briquetas (87 g CO<sub>2</sub>/MJ).





**Figura 1.** Briquetas utilizadas en un fogón tradicional

Asimismo, las emisiones de partículas finas ( $PM_{2.5}$ ) de las briquetas son considerablemente menores, lo que contribuye a mejorar la calidad del aire y reducir riesgos para la salud (Medina et al., 2021) En términos económicos, el aprovechamiento total de los residuos (8.9 toneladas anuales) podría generar un ingreso aproximado de \$2,670,000 MXN al año, considerando un precio de \$0.30 MXN por kilogramo. Esto evidencia que los residuos actualmente desaprovechados representan una oportunidad importante para fortalecer la economía local.

En conclusión, la producción de briquetas a partir de residuos maderables es una solución viable desde el punto de vista técnico, ambiental y económico. No solo permite reducir emisiones contaminantes y mejorar las condiciones de salud en las viviendas, sino que también impulsa el desarrollo económico de la comunidad y promueve el uso sostenible de los recursos naturales.

## Referencias

Medina, P., Núñez, J., Ruiz-García, V. M., & Beltrán, A. (2021). Experimental and numerical comparison of  $CO_2$  mass flow rate emissions, combustion and thermal performance for a biomass plancha-type cookstove. *Energy for Sustainable Development*, 63, 153–159. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.07.001>

Morales-Máximo, M. (2019). Aprovechamiento del aserrín y viruta de pino (*Pinus spp*) para la producción y evaluación de briquetas, como energía alterna en la comunidad de San Francisco Pichátaro, Michoacán [Tesis, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. En *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2016.17.58151>

Morales-Máximo, M., & Rutiaga-Quinones, J. G. (2025). Analysis and utilization of lignocellulosic materials for the generation of solid biofuels from the Purépecha Plateau in the state of Michoacán, Mexico. *Results in Engineering*, 26, 105230. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105230>





# Estimación del potencial bioenergético a partir del aprovechamiento de los conos de pino (*Pinus spp.*), en una comunidad rural del estado de Michoacán, México

**Santiago Nicolás-Máximo<sup>a</sup>, José Guadalupe Rutiaga-Quiñones<sup>b</sup>, Mario Morales-Máximo<sup>a,c\*</sup>**

<sup>a</sup> [santiagomxn@uiim.edu.mx](mailto:santiagomxn@uiim.edu.mx), Doctorado en ciencias para la sostenibilidad e interculturalidad, Universidad Intercultural Indígena de Michoacán, Carretera Pátzcuaro-Huecorio Km 3, Pátzcuaro 61614, Michoacán, México.

<sup>b</sup> [jose.rutiaga@umich.mx](mailto:jose.rutiaga@umich.mx), Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de Nicolás de Hidalgo, Francisco J. Mújica SN, Ciudad Universitaria, Morelia 58040, Michoacán, México.

<sup>a</sup> [mario.morales@uiim.edu.mx](mailto:mario.morales@uiim.edu.mx), Maestría en Educación Ambiental, Universidad Intercultural Indígena de Michoacán, Carretera Pátzcuaro-Huecorio Km 3, Pátzcuaro 61614, Michoacán, México.

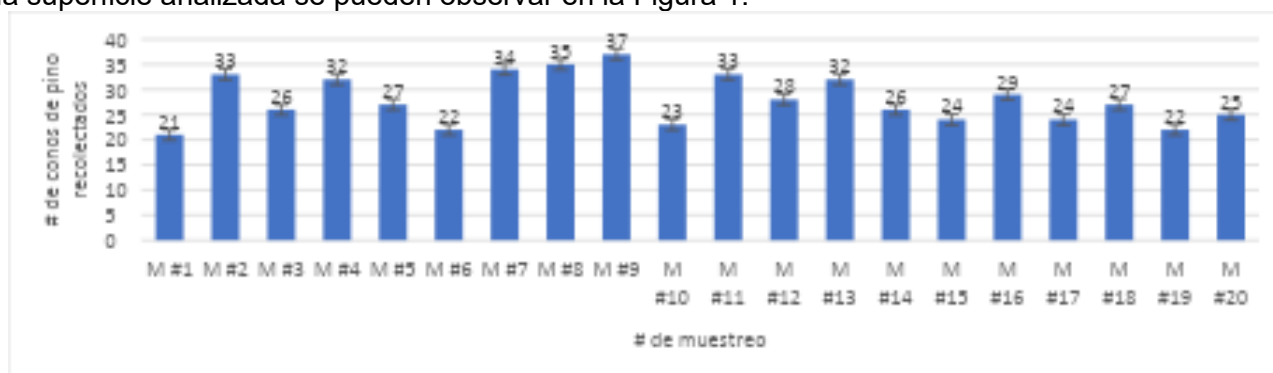
## Palabras clave:

Biomasa, Conos de Pino, Bioenergía, Biocombustibles.

## Resumen

La investigación se desarrolló en la comunidad de San Francisco Pichátaro, en el estado de Michoacán, México. Se localiza a 19° 34" N y 101° 40" O, una región predominante de gran variedad de especies de pinos y encinos; en el caso del pino, las especies predominantes son cancimbo (*Pinus pseudostrobus*), lacio (*Pinus montezumae*) y pino chino (*Pinus leiophylla*) (Francisco-Arriaga et al., 2011). Del área boscosa total, se recolectaron conos de *Pinus spp.*, para su posterior análisis y así determinar su viabilidad como biocombustibles de tipo sólido.

El muestreo de la superficie boscosa se llevó a cabo mediante el trazado en campo de áreas superficiales de 25m<sup>2</sup>; tal y como se han llevado a cabo en otras investigaciones (Morales-Máximo & Rutiaga-Quiñones, 2025); de manera aleatoria se hizo la recolección de los conos, para posteriormente realizar una evaluación de la disponibilidad de este recurso y así estimar el potencial energético disponible en el área boscosa de la comunidad de San Francisco Pichátaro. La disponibilidad de los conos de *Pinus spp.*, encontrados dentro de la superficie analizada se pueden observar en la Figura 1.



**Figura 1.** Distribución del muestreo de los conos de pino (*Pinus spp.*).

En las parcelas de muestreo (25 m<sup>2</sup>), la cantidad de conos de pino osciló entre 21 y 37 unidades, esto represento un promedio de 28 conos por cada 25 m<sup>2</sup> de superficie boscosa, con una desviación estándar de  $\pm 4.84$ . A partir de la molienda de las muestras, se determinó el peso promedio de los conos recolectados, tomando en cuenta la humedad real al momento de su recolección, sin un tratamiento de secado previo a





los análisis fisicoquímicos. Extrapolando estos datos a la unidad de superficie, se estima una biomasa disponible de 0.0336 toneladas de conos de pino por hectárea al año. Esta proyección se fundamenta en los muestreos realizados durante la temporada de otoño, periodo que presenta la mayor disponibilidad para su recolección en el bosque. De acuerdo con Francisco-Arriaga et al. (2011), la superficie boscosa de la comunidad de San Francisco Pichátaro es de 3,488 ha. Utilizando este valor, se calculó la producción anual total de conos en los bosques de la comunidad. Considerando una única temporada de recolección al año, la estimación de biomasa total ( $B_{Total}$ ) se describe de la siguiente ecuación:

$$B_{Total} = 3488 \text{ ha} \times 0.0336 \text{ t ha}^{-1} = 117.1968 \text{ t}$$

De lo anterior, la estimación anual aproximada de producción de conos de pino en los bosques de la comunidad de San Francisco Pichátaro fue de 117.20 toneladas métricas por año, información que se encuentra respaldada por la Figura 1. De lo anterior, considerando un poder calorífico promedio de 20.73 MJ/kg para residuos de *Pinus* spp., (Castillo-Tera et al., 2025) y un volumen de recolección estimado en 117.20 toneladas anuales (peso húmedo) dentro de las 3,488 hectáreas de la comunidad de Pichátaro, se determinó un potencial energético de 2.43 TJ/año (0.002433 PJ). Estos resultados evidencian la viabilidad técnica de este residuo biomásico para la generación de bioenergía a escala local, destacando su relevancia como recurso renovable disponible en la región.

Por lo tanto, se concluye que el recurso disponible es adecuado para su aplicación como biocombustible sólido (pellets o briquetas), siendo una alternativa renovable a escala local.

## Referencias:

Castillo-Tera, O. A., López-Sosa, L. B., Pintor-Ibarra, L. F., Rutiaga-Quiñones, J. G., & Morales-Máximo, M. (2025). Evaluation of *Bursera cuneata* Schltdl. Wood residues for use as densified biofuels. *Results in Engineering*, 26, 104916. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104916>

Francisco-Arriaga, F., Guerrero García-Rojas, H. R., Kido-Cruz, A., & Cortés-Zavala, M. T. (2011). Ingreso generado por la recolección de recursos forestales en Pichátaro, Michoacán, México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 8(1), 107–117.

Morales-Máximo, M., & Rutiaga-Quiñones, J. G. (2025). Analysis and utilization of lignocellulosic materials for the generation of solid biofuels from the Purépecha Plateau in the state of Michoacán, Mexico. *Results in Engineering*, 26, 105230. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105230>



## Carbones activados obtenidos a partir de plumas de gallina para la captura de CO<sub>2</sub>

M. de los Milagros Deharbe<sup>a</sup>, Ramiro Serra<sup>b</sup>, Leticia Gómez<sup>c</sup>, Alicia Boix<sup>d</sup>.

<sup>a</sup> mdeharbe@fiq.unl.edu.ar, INCAPE-FIQ (CONICET-UNL), Santa Fe, Argentina

<sup>b</sup> rserra@fiq.unl.edu.ar, INCAPE-FIQ (CONICET-UNL), Santa Fe, Argentina

<sup>c</sup> legomez@fiq.unl.edu.ar, INCAPE-FIQ (CONICET-UNL), Santa Fe, Argentina

<sup>d</sup> aboix@fiq.unl.edu.ar, INCAPE-FIQ (CONICET-UNL), Santa Fe, Argentina

**Palabras clave:** plumas de gallina, carbones microporosos, valorización de residuos, contaminación del aire.

### Resumen

Las plumas de gallina constituyen uno de los principales residuos sólidos generados por la industria avícola, con una producción mundial estimada en más de 40 millones de toneladas anuales (Tesfaye et al., 2017). Estructuralmente, las plumas presentan una morfología jerárquica formada por un eje central (raquis) y ramificaciones secundarias (barbas y barbillas) constituida principalmente por queratina (Wang et al., 2025). La creciente generación de residuos y la necesidad de desarrollar tecnologías sostenibles para la captura de CO<sub>2</sub>, principal gas responsable del cambio climático, impulsan la búsqueda de nuevos materiales adsorbentes (Quan et al., 2024). En este contexto, las plumas representan una fuente abundante que puede ser valorizada mediante procesos térmicos para obtener biocarbones. El objetivo de este trabajo fue sintetizar carbones activados a partir de plumas de gallina mediante activación química evaluando la influencia de la temperatura de activación. Estos materiales fueron evaluados para la adsorción de CO<sub>2</sub> en fase gas.

Las plumas fueron pirolizadas a 500 °C en atmósfera de N<sub>2</sub> para obtener un biocarbón, el cual fue posteriormente activado químicamente con KOH (relación 1:3) mediante impregnación húmeda y tratamiento térmico a 400, 500 y 600 °C. Luego del lavado ácido (HCl) y secado, se obtuvieron los materiales CA-400, CA-500 y CA-600.

La caracterización textural se realizó mediante adsorción de N<sub>2</sub> a 77 K. La capacidad de adsorción de estos materiales se evaluó a 50, 75 y 100 °C, empleando una corriente de alimentación de 10% CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>. Para estas llevar a cabo estas mediciones se utilizó un sistema de flujo continuo acoplado a un espectrómetro de masas. De acuerdo a los resultados reportados en la Tabla 1, se observa que la activación química promovió un marcado desarrollo de la estructura microporosa. Esto fue evidenciado por el aumento de la superficie específica de 330 a 1600 m<sup>2</sup>/g y del volumen de microporos de 0.116 a 0.587 cm<sup>3</sup>/g al incrementar la temperatura de activación de 400 a 600 °C. Este comportamiento se asocia al efecto del KOH, que favorece la generación y expansión de la red porosa.

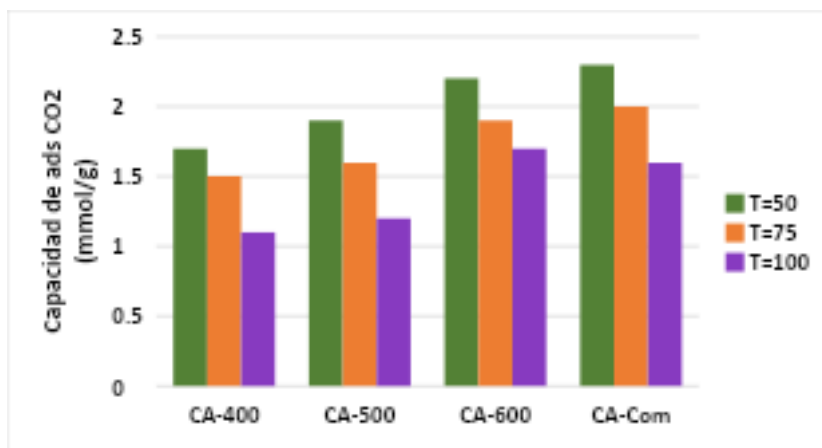
**Tabla 1.** Propiedades texturales de los carbones activados.

| Materiales | Dubinin Radushkevich                                  |                                                             |                     |
|------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------|
|            | Superficie específica equivalente (m <sup>2</sup> /g) | W <sub>0</sub> (Volumen de microporos) (cm <sup>3</sup> /g) | Tamaño de poro (nm) |
| CA-400     | 330                                                   | 0.116                                                       | 0.67                |
| CA-500     | 790                                                   | 0.279                                                       | 0.68                |



|        |      |       |      |
|--------|------|-------|------|
| CA-600 | 1600 | 0.587 | 0.89 |
|--------|------|-------|------|

En relación a la adsorción de CO<sub>2</sub> (Figura 1), todos los materiales mostraron una disminución de la capacidad de adsorción con el aumento de la temperatura, característica de procesos de fisisorción. A 50 °C, el carbón comercial presentó la mayor capacidad (2.3 mmol/g), seguido por CA-600 (2.2 mmol/g), CA-500 (1.9 mmol/g) y CA-400 (1.7 mmol/g). Sin embargo, a 100 °C, el material CA-600 exhibió el mejor desempeño (1.7 mmol/g) y la menor pérdida relativa de capacidad, evidenciando una mayor estabilidad térmica y una distribución de microporos más favorable para la retención de CO<sub>2</sub>.



**Figura 1.** Capacidad de adsorción de los biocarbones activados y el carbón activado comercial

En síntesis, las plumas de gallina demostraron ser una materia prima viable para la obtención de carbones activados microporosos con buen desempeño en la captura de CO<sub>2</sub>. La temperatura de activación resultó determinante, siendo 600 °C la condición óptima, asociada a un mayor desarrollo poroso y mejor estabilidad adsorbente, lo que resalta el potencial de estos materiales como adsorbentes sostenibles para la captura de CO<sub>2</sub>.

## Referencias:

- Tesfaye T., Sithole B., Ramjugernath D. (2017). Clean Technol. Environ. Policy 19, 1–16.
- Wang J., Qiu R., Chen Q., Liu D., Zhang T., Li Y., Zhang X., Wang B., Hu D., Ren D., Wang X., Xia X., Zhang Y., Zhang W., Bai M. (2025). Sci. Bull. 70, 2431–2435.
- Quan C., Zhoun Y., Wang J., Wu C., Gao N. (2024). CO<sub>2</sub> Util. 68, 102373.



## Valorización de descartes de la industria yerbatera como fuente de antioxidantes naturales.

Mercurio, Joaquin Ignacio<sup>a</sup>, Ferretti, Cristián Alejandro<sup>b</sup>, Reinheimer, María Agustina<sup>c</sup>, Godoy, Ezequiel<sup>d</sup>, Torresi, Pablo<sup>e\*</sup>.

<sup>a</sup>jmercurio@conicet.gov.ar, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE), Santa Fe, Argentina

<sup>b</sup>ferretticristianalejandros@gmail.com, Instituto de Química Aplicada del Litoral (IQAL), Santa Fe, Argentina

<sup>c</sup>areinheimer@ucel.edu.ar, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Rosario, Argentina

<sup>d</sup>ezgodoy@frro.utn.edu.ar, Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Facultad Regional Rosario, Argentina

<sup>e</sup>ptorresi@fiq.unl.edu.ar, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE), Santa Fe, Argentina

**Palabras clave :** Antioxidante, Yerba mate, Polifenoles, Descartes

### Resumen

El consumo de yerba mate (*Ilex paraguariensis*) ha sido asociado a numerosos beneficios para la salud como propiedades antioxidantes, vasodilatadoras, antiinflamatorias y antimutagénicas. Una gran parte de los beneficios atribuidos al consumo de yerba mate como infusión están relacionados con los compuestos fenólicos, y su acción como antioxidantes (Brousse et. al., 2024). Los principales polifenoles presentes en la yerba mate incluyen al ácido cafeico, ácido clorogénico, derivados cafeoilquínicos, ácido feruloyquinico, kaempferol, quercetina, rutina y ácido quínico (Menezes et. al., 2023). Con el objetivo de avanzar sobre el aprovechamiento de los residuos producidos en el procesamiento de la yerba mate, se propone obtener extractos ricos en antioxidantes naturales. La yerba canchada estacionada 3 años se separó en dos fracciones, denominadas Palo y Hoja, mediante inspección visual. Cada fracción se sometió a una reducción de tamaño en un molino de laboratorio y una separación utilizando tamices ASTM. Las muestras retenidas en el tamiz de tamaño 420 µm para cada fracción se sometieron a extracción con una relación 1:10 p/v sólido:solvente en un extractor de 250 ml durante 24 h en un baño termostatzado a 80 °C. Como solvente, se utilizaron mezclas de etanol:agua con una proporción entre 0 y 100 % v/v de etanol, en incrementos de 10 % v/v. Cada extracto se filtró y se determinó su contenido de polifenoles totales (CPT) mediante el método de Folin-Ciocalteu adaptado de la norma ISO 14502-1 (Organización Internacional de Normalización, 2005).

En la Tabla 1, se muestran los valores de CPT obtenidos para diferentes proporciones de etanol en el solvente de extracción para ambas fracciones retenidas por el tamiz N-40. Valores similares para la fracción Hoja fueron registrados por Holowaty (2018), con un máximo para una mezcla etanol-agua al 60 % v/v. Para la fracción Palo, se hallaron valores de CPT menores, siendo el máximo para la mezcla etanol-agua al 50 % v/v. La menor extracción de compuestos fenólicos totales en los palos de *Ilex paraguariensis* se relaciona con su mayor contenido de tejidos lignificados y fibras estructurales, que retienen estos compuestos en las paredes celulares, reduciendo su accesibilidad al solvente durante la extracción (Pagliosa et al., 2010).

**Tabla 1.** CPT de extractos de las fracciones Hoja y Palo retenidos en un tamiz de 420 µm y para diferentes concentraciones de etanol en el solvente.

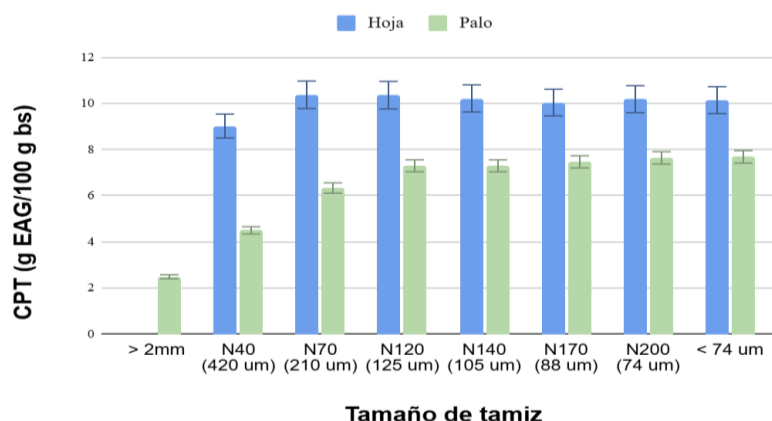
| % v/v Etanol | CPT fracción Hoja<br>(g EAG/100 g bs) | CPT fracción Palo<br>(g EAG/100 g bs) |
|--------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 0            | 8,9 ± 0,5                             | 3,69 ± 0,13                           |
| 10           | 8,8 ± 0,5                             | 3,16 ± 0,11                           |
| 20           | 7,5 ± 0,4                             | 3,84 ± 0,14                           |
| 30           | 7,1 ± 0,4                             | 3,78 ± 0,13                           |
| 40           | 7,7 ± 0,4                             | 3,90 ± 0,14                           |





|     |           |             |
|-----|-----------|-------------|
| 50  | 9,0 ± 0,5 | 4,55 ± 0,16 |
| 60  | 9,8 ± 0,6 | 4,13 ± 0,15 |
| 70  | 8,6 ± 0,5 | 4,15 ± 0,15 |
| 80  | 7,3 ± 0,4 | 4,22 ± 0,15 |
| 90  | 7,4 ± 0,4 | 3,56 ± 0,13 |
| 100 | 6,0 ± 0,3 | 3,03 ± 0,11 |

Con el fin de evaluar el efecto del tamaño del sólido, la Figura 1 muestra que el CPT aumenta considerablemente al disminuir el tamaño de partícula de la fracción Palo, hasta un tamaño de tamiz de 125  $\mu\text{m}$ . Por su parte, reducir el tamaño de la fracción Hoja por debajo de 420  $\mu\text{m}$  no tiene efecto significativo sobre el CPT del extracto.



**Figura 1.** CPT de extractos de las fracciones Hoja y Palo retenido en los diferentes tamices ASTM y para una concentración de 50 % v/v de etanol en el solvente.

La eficiencia de extracción depende tanto de la composición del solvente como del tamaño de partícula del sólido, observándose mayores valores de CPT en mezclas hidroalcohólicas intermedias y en partículas más finas, particularmente para la fracción Palo. Estos resultados evidencian el potencial de valorización de subproductos de la yerba mate para la obtención de extractos ricos en compuestos bioactivos con posibles aplicaciones en la industria alimentaria y nutracéutica.

## Referencia

Brousse, M. M., Monaca, A. B., López, G. G., Cruz, N. E., & Vergara, M. L. (2024). Concentración sucesivas de compuestos fenólicos de la Yerba Mate (*Ilex paraguariensis*) y su contribución a la capacidad antioxidante. *Revista De Ciencia Y Tecnología*, 42(1), 18–27. <https://doi.org/10.36995/j.recyt.2024.42.002>

Holowaty, S.A., Thea, A.E., Alegre, C., Schmalko, M.E. (2018). Differences in physicochemical properties of yerba maté (*Ilex paraguariensis*) obtained using traditional and alternative manufacturing methods. *J Food Process Eng.* <https://doi.org/10.1111/jfpe.12911>

Menezes, B., Caleja, C., Calhella, R. C., Pinela, J., Dias, M. I., Stojković, D., Soković, M., Gonçalves, O. H., Leimann, F. V., Pereira, E., & Barros, L. (2023). Use of Bio-Waste of *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. (Yerba mate) to Obtain an Extract Rich in Phenolic Compounds with Preservative Potential. *Foods*, 12(17), 3241. <https://doi.org/10.3390/foods12173241>

Organización Internacional de Normalización. (2005). Determination of substances characteristic of green and black tea. (ISO 14502-1).

Pagliosa, C. M., de Simas, K. N., Amboni, R. D. M. C., Negrão Murakami, A. N., Petkowicz, C. L. O., de Deus Medeiros, J., Rodrigues, A. C., Amante, E. R. (2010). Characterization of the bark from residues from mate tree harvesting (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), *Industrial Crops and Products*, Vol. 32, Issue 3, pp. 428-433. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.06.010>



## Obtención de extractos de alto valor agregado a partir de descartes de la industria vitivinícola.

Mercurio, Joaquin Ignacio<sup>a\*</sup>, Ferretti, Cristián Alejandro<sup>b</sup>, Reinheimer, María Agustina<sup>c\*</sup>, Godoy, Ezequiel<sup>d</sup>, Torresi, Pablo<sup>e\*</sup>.

<sup>a</sup>*jmercurio@conicet.gov.ar, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE), Santa Fe, Argentina*

<sup>b</sup>*ferretticristianalejandro@gmail.com, Instituto de Química Aplicada del Litoral (IQAL), Santa Fe, Argentina*

<sup>c</sup>*areinheimer@ucel.edu.ar, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Rosario, Argentina*

<sup>d</sup>*ezgodoy@frro.utn.edu.ar, Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Facultad Regional Rosario, Argentina*

<sup>e</sup>*ptorresi@fiq.unl.edu.ar, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE), Santa Fe, Argentina*

**Palabras clave** : Antioxidantes, Descartes, Fenoles Totales, Vitivinicultura.

### Resumen

En la actualidad existe un cambio en los hábitos de consumo orientado hacia la sustitución de conservantes químicos por alternativas más naturales y saludables, que conlleva a que numerosas industrias adapten sus procesos productivos a las nuevas tendencias. En la elaboración de vinos, el anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) es uno de los antioxidantes más utilizados por su efectividad y versatilidad, debido a sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes. No obstante, el uso de SO<sub>2</sub> ha sido asociado a efectos perjudiciales para la salud, tales como dermatitis, urticaria, angioedema, diarrea, dolor abdominal, bronco-constricción y anafilaxis (Raposo et. al., 2016). En consecuencia, desde 2005 es obligatorio incorporar en el etiquetado la declaración “Contiene sulfitos” cuando la concentración de SO<sub>2</sub> supere los 10 mg/l. En este contexto, surge la necesidad de buscar tecnologías alternativas para la obtención de conservantes, que puedan reemplazar y/o reducir el contenido de SO<sub>2</sub> en los vinos.

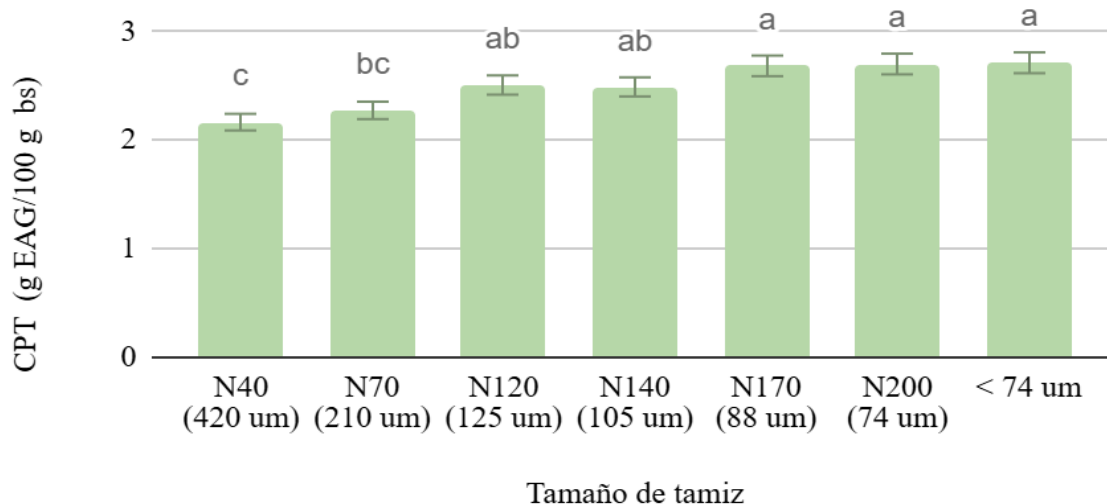
Según el Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV) en Argentina la superficie total de vid registrada al 31/12/25 es de 196.220 hectáreas. La industria vitivinícola se estima que genera entre 2 y 5 toneladas de residuos de poda por hectárea por año dependiendo de la densidad de plantación, el clima y la variedad de uva. Estos residuos, constituidos principalmente por ramas leñosas (sarmientos), hojas remanentes y restos de brotes, suelen ser descartados mediante trituración en campo, incorporación al suelo o incineración (Andelini et al., 2023). Sin embargo, los sarmientos presentan una elevada concentración de compuestos polifenólicos, entre 1 y 2 % equivalentes de ácido gálico (EAG) en base seca, tales como antocianos, taninos y flavonoides (principalmente estilbenos como el resveratrol), que podrían ser aprovechados en distintas etapas del proceso enológico, por su actividad antioxidante y antimicrobiana. (Domínguez-Rodríguez et. al., 2026). Con el objetivo de revalorizar los sarmientos de la vid, en el presente trabajo se desarrolló un proceso de obtención de extractos ricos en antioxidantes naturales.

Los sarmientos de la vid obtenidos de la poda de Malbec se sometieron a una reducción de tamaño en un molino de laboratorio y una separación utilizando tamices ASTM con el propósito de evaluar la influencia del área superficial específica sobre la cinética y rendimiento de extracción. Las muestras retenidas en los diferentes tamices se sometieron a un proceso de macerado durante 24 horas con una relación 1:10 p/v sólido:solvente, a una temperatura fija de 80 °C, y utilizando como solvente una mezcla de etanol:agua 50 % v/v. La proporción de solvente se seleccionó en base a antecedentes bibliográficos que reportan máxima solubilización de compuestos fenólicos en mezclas hidroalcohólicas intermedias, mientras que el tiempo y temperatura se definieron para asegurar el equilibrio sólido-líquido sin degradación significativa de los compuestos (Li et. al., 2026). Cada extracto se filtró y se determinó su contenido de polifenoles totales



(CPT) mediante el método de Folin-Ciocalteu adaptado de la norma ISO 14502-1 (Organización Internacional de Normalización, 2005). La Figura 1 muestra que los valores de CPT aumentan al disminuir el tamaño de partícula hasta un tamiz de 125  $\mu\text{m}$ .

**Figura 1.** CPT de extractos de los sarmientos de la vid retenidos en los diferentes tamices ASTM y para una concentración de 50 % v/v de etanol en el solvente.



Por otro lado, se realizaron extracciones en un sistema soxhlet utilizando como solvente etanol 96 % v/v y etanol 99%v/v, con una relación 1:8 p/v sólido:solvente. Como tiempo de extracción se definió 6 horas, asegurando así una extracción completa. En la Tabla 1 se muestran los resultados de los valores de CPT de estos extractos en comparación con el obtenido por macerado para el mismo tamaño de partícula.

**Tabla 1.** CPT de extractos de sarmientos retenidos en tamiz de apertura de 420  $\mu\text{m}$ , para diferentes procesos de extracción expresados como gramos equivalentes de ácido gálico (EAG) y gramos equivalente de resveratrol (ER), por 100 gramos de muestra seca.

| Extracción                | CPT              | CPT             |
|---------------------------|------------------|-----------------|
|                           | (g EAG/100 g bs) | (g ER/100 g bs) |
| Macerado - etanol 50 %v/v | 2.16 $\pm$ 0.08  | 3.93 $\pm$ 0.14 |
| Soxhlet - etanol 96 %v/v  | 1.14 $\pm$ 0.04  | 2.02 $\pm$ 0.07 |
| Soxhlet - etanol 99 %v/v  | 1.46 $\pm$ 0.05  | 2.58 $\pm$ 0.09 |

Para la fracción de 420  $\mu\text{m}$ , el macerado con etanol 50 % v/v presentó los mayores valores de CPT medido en términos de EAG y ER, superando a los obtenidos por Soxhlet con etanol 96 % y 99 % v/v. Estos resultados confirman que mezclas hidroalcohólicas intermedias favorecen la extracción de polifenoles debido a su mayor polaridad de forma similar a lo determinado por Li et. al. (2026) para semillas de uva. No obstante, los extractos obtenidos por Soxhlet presentan menor contenido de agua, facilitando su posterior concentración a temperaturas más bajas y con menor tiempo operativo de extracción.



En conclusión, la disminución del tamaño de partícula hasta 125  $\mu\text{m}$  y la utilización de etanol 50 % v/v en la maceración permitieron maximizar el contenido de polifenoles totales extraídos. Estos resultados demuestran que los sarmientos de vid constituyen una fuente viable de antioxidantes naturales.

## Referencias

Anđelini, D., Cvitan, D., Prelac, M., Pasković, I., Černe, M., Nemet, I., Major, N., Goreta Ban, S., Užila, Z., Zubin Ferri, T., Njegić Džakula, B., Petek, M., Ban, D., & Palčić, I. (2023). Biochar from Grapevine-Pruning Residues Is Affected by Grapevine Rootstock and Pyrolysis Temperature. *Sustainability*, 15(6), 4851. <https://doi.org/10.3390/su15064851>

Domínguez-Rodríguez, G., Nieto, J., Santoyo, S., Jaime, L. (2026). *Comparing Extraction Techniques and Varieties in Grape Stems: A Chemical Assessment of Antioxidant Phenolics*. *Applied Sciences*. 16. 877. [10.3390/app16020877](https://doi.org/10.3390/app16020877).

Li, C., Liu, R., Meng, L., Meng, Y., Xu, S., Wang, X., Wang, L., Lan, T., & Zhou, T. (2026). *Response Surface Methodology-Optimized Ultrasonic-Assisted Extraction Combined with Folin–Ciocalteu Assay for Total Polyphenol Determination in Grape Seeds: Development and Application*. *Applied Sciences*, 16(7), 3306. <https://doi.org/10.3390/app16073306>

Organización Internacional de Normalización. (2005). *Determination of substances characteristic of green and black tea*. (ISO 14502-1).

Raposo, R., Ruiz-Moreno, M.J., Garde-Cerdán, T., Puertas, B., Moreno-Rojas, J. M., Gonzalo-Diago, A., Guerrero, R., Ortiz, V., Cantos-Villar, E. (2016). *Grapevine-shoot stilbene extract as a preservative in red wine*. *Food Chemistry* (Vol. 197, pp.1102-1111). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.102>.





# **Valorización de residuos de cáscara de mango mediante la extracción de fibra dietaria soluble: influencia del pretratamiento ultrasónico y enzimático**

Jhonatan Quiñonez Ensuncho<sup>a</sup>, Beatriz Valdés Duque<sup>b</sup>, Juan Osorio Tobón<sup>c, \*</sup>

<sup>a</sup> jhonatanq@est.colmayor.edu.co, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín.

<sup>b</sup> beatriz.valdes@colmayor.edu.co, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín.

<sup>c</sup> juan.tobon@colmayor.edu.co, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín.

**Palabras clave:** Valorización, Fibra dietaria, Mango, Extracción enzimática.

## **Resumen:**

El procesamiento industrial de mangos genera una gran cantidad de residuos, entre ellos, las pieles, que representan alrededor del 20 % del mango procesado. Los residuos del procesamiento de mango presentan un alto potencial de aprovechamiento debido a su alto contenido de compuestos funcionales, pectinas y fibra dietaria (FD) (Kaur et al., 2021). Esta investigación tuvo como objetivo la valorización de los residuos de cáscara de mango mediante la obtención de fibra dietaria soluble (FDS), evaluando el efecto de diferentes métodos de extracción sobre sus propiedades funcionales y estructurales. Para ello, se compararon las metodologías de extracción alcalina (ALE), enzimática (EE) y de extracción con pretratamiento ultrasónico (UAEAL y UAEE). Se utilizó una relación masa-volumen de 1:25 con soluciones de hidróxido de sodio y buffer fosfato (pH 6,0) en todos los tratamientos. Para los tratamientos UAEAL y UAEE, el pretratamiento ultrasónico se realizó con un equipo de 750 W y una amplitud del 60 %. Los principales resultados destacan que la EE logró una recuperación de FDS del  $42,78 \pm 0,21$  %. A diferencia de lo informado en estudios previos, en los que el ultrasonido mejora la eficiencia de extracción, en esta investigación su efecto fue limitado y no potenció el rendimiento respecto a la EE. Una posible explicación es que las intensas fuerzas físicas generadas por el ultrasonido pueden alterar de forma excesiva la estructura de la FDS, tal como fue reportado por (Xu et al., 2026). Los resultados de las propiedades tecnofuncionales revelaron que la FDS obtenida por el método alcalino presentó una mayor capacidad de retención de agua (WHC,  $9,75 \pm 0,18$  g g<sup>-1</sup>); sin embargo, los métodos EE y UAEE presentaron valores estables ( $6,23 \pm 0,00$  y  $5,71 \pm 0,00$  g g<sup>-1</sup>), respectivamente. Este resultado se asocia con una mayor desestructuración y fragmentación molecular causada por las enzimas (Tian et al., 2025). Mientras que la capacidad de retención de aceite no se modificó tras los diferentes tratamientos, presentó valores entre  $1,04 \pm 0,02$  y  $1,18 \pm 0,20$  g g<sup>-1</sup>. El análisis estructural mostró que la FDS extraída con EE y UAEE presentó una estructura amorfa, con una organización más desordenada y una mayor estabilidad térmica, lo que indica una mayor presencia de pectina y hemicelulosa (Liu et al., 2021). En consecuencia, la extracción enzimática constituye una metodología eficiente para obtener FDS rica en compuestos bioactivos a partir de residuos de cáscara de mango. Esta fibra aporta un alto valor nutricional y funcional debido a sus propiedades antioxidantes, que permiten proteger las matrices alimentarias de la oxidación lipídica y mantener su estabilidad durante el procesamiento industrial.

## **Referencias:**

- Kaur, B., Panesar, P. S., & Thakur, A. (2021). Extraction and evaluation of structural and physicochemical properties of dietary fiber concentrate from mango peels by using green approach. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01740-2>
- Liu, Y., Zhang, H., Yi, C., Quan, K., & Lin, B. (2021). Chemical composition, structure, physicochemical and functional properties of rice bran dietary fiber modified by cellulase treatment. *Food Chemistry*, 342, 128352. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.128352>
- Tian, M., Guo, Y., Wang, S., Zhao, Y., & Cao, J. (2025). Effects of different extraction methods on structure and functional characteristics of soluble dietary fiber from *Dendrocalamus brandisii* Munro shoots. *LWT*, 223, 117686. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117686>



Xu, J., Li, M., Peng, J., Li, L., Zhao, W., Dai, Z., & Li, L. (2026). The effects of different extraction methods on the structure, physicochemical, and functional characteristics of dietary fiber from Rape Bee Pollen. *Food Nutrition*, 100055. <https://doi.org/10.1016/j.fnutr.2026.100055>

## Pirólisis térmica y catalítica de bidones fitosanitarios

Martín C. Piqueras<sup>a</sup>, Milagros Permuy Vidal<sup>b</sup>, Jorge E. Colman Lerner<sup>c</sup>, Gabriel Rodríguez Garrido<sup>d</sup>, Mara Volpe<sup>e</sup>, Jorge E. Sambeth<sup>f\*</sup>

<sup>a</sup> [cpiqueras@plapiqui.edu.ar](mailto:cpiqueras@plapiqui.edu.ar), PLAPIQUI (UNS-CONICET), Bahía Blanca, Argentina

<sup>b</sup> [milagros.permuyvidal@gmail.com](mailto:milagros.permuyvidal@gmail.com), CINDECA (UNLP-CONICET-CICPBA), La Plata, Argentina

<sup>c</sup> [jecolman@gmail.com](mailto:jecolman@gmail.com), CINDECA (UNLP-CONICET-CICPBA), La Plata, Argentina

<sup>d</sup> [grodriguezgarrido@ipa.org.ar](mailto:grodriguezgarrido@ipa.org.ar), Universidad Austral, Pilar, Argentina

<sup>e</sup> [maravolpe4@gmail.com](mailto:maravolpe4@gmail.com), Universidad Austral, Pilar, Argentina

<sup>f</sup> [sambeth@quimica.unlp.edu.ar](mailto:sambeth@quimica.unlp.edu.ar), CINDECA (UNLP-CONICET-CICPBA), La Plata, Argentina

**Palabras clave:** Fitosanitarios, Bidones, Pirolisis

### Resumen

El trabajo evalúa la pirólisis térmica y catalítica de residuos de polietileno de alta densidad (HDPE) provenientes de envases agroquímicos como alternativa de reciclado químico. Estos residuos presentan limitaciones para su reciclado mecánico debido a la contaminación con sustancias peligrosas. Los ensayos se realizaron en un reactor de lecho fijo a 470 °C bajo atmósfera inerte, utilizando alúmina activada y sulfatada como catalizadores. La pirólisis térmica generó principalmente ceras (~80%) y bajos rendimientos de líquidos (<4%), mientras que la pirólisis catalítica permitió suprimir la formación de ceras y alcanzar rendimientos líquidos cercanos al 65–70%. Los productos obtenidos consisten mayoritariamente en hidrocarburos alifáticos en el rango C7–C19, adecuados como combustibles o corrientes de refinación. La actividad catalítica se asocia a la presencia de sitios ácidos de tipo Brønsted y Lewis, responsables del craqueo. La alúmina sulfatada mostró mayor acidez, pero también mayor desactivación por formación de coque. Los estudios de regeneración evidenciaron que los catalizadores pueden recuperarse mediante oxidación térmica. En conjunto, el proceso demuestra ser una alternativa viable para valorizar residuos plásticos contaminados, contribuyendo a la economía circular.

### Resultados y Discusión

Los experimentos se realizaron en un reactor de lecho fijo semicontinuo a 470 °C bajo atmósfera de nitrógeno, utilizando alúmina activada (CatA) y alúmina sulfatada (CatS) como catalizadores. Los resultados muestran diferencias significativas entre la pirólisis térmica y catalítica. En el proceso térmico se obtuvo principalmente una fracción sólida tipo cera (~80%) y una baja producción de líquidos (<4%). En cambio, la pirólisis catalítica permitió suprimir la formación de ceras y alcanzar rendimientos líquidos cercanos al 65–70%, evidenciando el rol clave de los sitios ácidos en la promoción de reacciones de craqueo (Tabla 1) en coincidencia con diferentes autores (Miandada et al., 2017)



**Tabla 1.** Resultados del proceso pirolítico térmico y catalítico.

|                      | Condensado<br>Líquido (%) | Gas<br>(%)  | Residuos<br>Carbonosos (%) | Ceras (%) |
|----------------------|---------------------------|-------------|----------------------------|-----------|
| Pirolisis<br>Térmica | <b>3.4</b>                | <b>14.1</b> | <b>2.5</b>                 | <b>80</b> |
| CatA                 | <b>64.8</b>               | <b>29.6</b> | <b>5.5</b>                 | <b>0</b>  |
| CatS                 | <b>69.5</b>               | <b>24.9</b> | <b>5.6</b>                 | <b>0</b>  |

Los productos líquidos obtenidos están compuestos principalmente por hidrocarburos alifáticos ( $\approx 85\%$  alcanos y  $\approx 15\%$  alquenos) en el rango C7–C19, adecuados como potenciales corrientes de alimentación para procesos de refinación. La ausencia de compuestos oxigenados, nitrogenados o sulfurados indica una alta calidad del producto. Se detectaron trazas de elementos como Si, Fe, V y P, atribuibles a impurezas del material de origen.

El análisis FTIR por adsorción de piridina confirmó la presencia de sitios ácidos de tipo Brønsted y Lewis, responsables de la actividad catalítica. La piridina con enlaces de hidrógeno adsorbida en sitios ácidos de Lewis fue observada sobre alúminas a  $1445$  y  $1455\text{ cm}^{-1}$  y  $1600\text{--}1630\text{ cm}^{-1}$  (Nicholas et al. , 2003; Aguado et al. 2005), Piridina con fuerte enlace de Lewis (a  $1630$  y  $1455\text{ cm}^{-1}$ ) y piridina con débil enlace de Lewis a  $1575\text{ cm}^{-1}$  (Nicholas et al. , 2003). Piridina adsorbida en los sitios ácidos de Lewis y de Brønsted se detectó a aproximadamente a  $1490\text{ cm}^{-1}$ . La alúmina sulfatada presentó mayor acidez, aunque también mostró mayor tendencia a desactivación por formación de depósitos carbonosos debido a un craqueo excesivo. Por su parte, la alúmina activada mostró un comportamiento más estable.

Los estudios de regeneración mediante TGA-FTIR demostraron que los depósitos carbonosos pueden eliminarse completamente por oxidación entre  $400$  y  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ , permitiendo la reutilización del catalizador, aspecto clave para la viabilidad del proceso a escala industrial.

En conclusión, los resultados indican que la pirólisis catalítica es una alternativa eficiente para la valorización de residuos plásticos contaminados, permitiendo la recuperación de hidrocarburos y su potencial integración en unidades de refinación como FCC. Este enfoque contribuye al desarrollo de estrategias de economía circular y a la reducción del impacto ambiental asociado a residuos agroquímicos.

## Referencias

- Aguado J., Escola J., Castro M., Paredes B., (200) Appl. Catal. A 284, 47-57.  
 Miandada R., Barakata M., Rehan A. et al. (2017) *Waste Management*. 69, 66-78.  
 Nicholas C., Ahn H., Marks T., (2003) *J. Am. Chem. Soc.* 125, 4325-4331.



# Valorización de la fracción orgánica mediante el proceso de compostaje en la comunidad indígena de la isla de Janitzio, Michoacán. México.

Antonio Campos De La Cruz<sup>a</sup>, Luis Bernardo López Sosa<sup>a</sup>, Michel Alejandro Rivero Corona<sup>b</sup> y Sayra Lissette Orozco Cerros<sup>a, c\*</sup>

<sup>a</sup>antonio.campos.dcsi@uiim.edu.mx, lbernardo.lopez@uiim.edu.mx. Universidad Intercultural Indígena de Michoacán, Pátzcuaro, Michoacán, México.

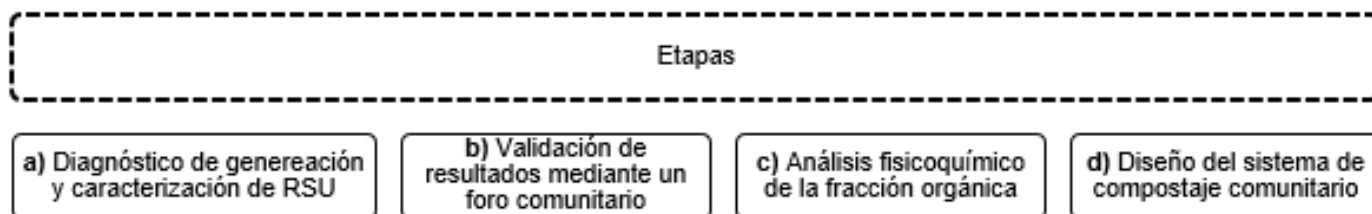
<sup>b</sup>mrivero@unam.edu.mx. Instituto de Investigaciones en Materiales, Unidad Morelia, UNAM, Morelia, Michoacán, México.

<sup>c</sup>sorozcoceros@gmail.com\* Tecnológico Superior de Pátzcuaro, Pátzcuaro, Michoacán, México.

**Palabras clave:** Valorización de residuos, economía circular, compostaje comunitario, residuos sólidos urbanos, comunidades indígenas.

## Resumen

El aprovechamiento de residuos sólidos urbanos (RSU) en comunidades rurales e indígenas, representa un eje estratégico hacia la construcción de modelos de economía circular (Agya y col., 2024). En ese sentido, la isla de Janitzio, una comunidad indígena de origen P'urhépecha ubicada en Michoacán, México, evidencia un desafío significativo asociado al manejo inadecuado de RSU. La falta de manejo adecuado de residuos ha generado riesgos de salud pública, descomposición del tejido social y afectaciones ambientales, agravados con la afluencia turística y los cambios en los patrones de consumo (Campos y col., 2025).



El objetivo de este trabajo estriba en la valorización de la fracción orgánica de los RSU mediante un sistema de compostaje comunitario, enfocado a la obtención de un biomaterial con potencial en la mejora de la calidad de suelos, pensado desde la realidad contextual de la comunidad y sus limitaciones geográficas. Por lo anterior, la investigación propuesta se desarrolló mediante un enfoque aplicado y participativo en cuatro etapas secuenciales, tal como se aprecia en la Figura 1:

(a) Mediante muestreo representativo, con un total de 123 muestras distribuidas en toda la comunidad; (b) Validación de resultados mediante un foro comunitario con presencia de autoridades comunales, funcionarios de gobierno, estudiantes, profesores y público en general; (c) caracterización fisicoquímica de la fracción orgánica a través de análisis de pH, conductividad eléctrica y potencial REDOX y (d) Diseño del sistema de compostaje comunitario dimensionado con base a la generación de residuos orgánicos y parámetros operativos del proceso. Los resultados de los residuos generados en la isla mostraron que la fracción orgánica constituyó la mayor proporción, con un 63%, seguida de plásticos con 9%, papel/cartón con 9%, vidrio en 7% y otros residuos (variables) <5 %, lo que muestra potencial de aprovechamiento del material orgánico mediante el proceso de compostaje. También, se estimó que la comunidad genera 397





Tn de RSU anualmente, lo que contribuye a dimensionar un sistema de compostaje comunitario acorde a las necesidades contextuales y sociales, sumado a la integración de los saberes tradicionales y la cosmovisión de los pueblos originarios (Leknoi y col.,2024). Esta propuesta se traduce en un sistema idóneo para reducir el volumen de RSU, generado por las prácticas de manejo inadecuadas.

La caracterización fisicoquímica de la fracción orgánica evidenció valores fisicoquímicos idóneos con pH cercano a 6.0, conductividad eléctrica de 3.42 mS/cm y potencial REDOX en un rango de 138-140 mV por lo que el material orgánico generado en la comunidad, puede aprovecharse en transformación en composta a través de procesos aeróbicos controlados (Pajura, 2024). El sistema de compostaje comunitario, contempla la integración de siete pilas de compostaje tipo tolva, una zona de recepción, zona de trituración, zona de estabilización y un área de empaqueo para su distribución en huertos escolares. Cabe mencionar que el sistema se diseñó con fundamento en la generación de residuos orgánicos y parámetros operativos del proceso.

De forma adicional, la propuesta integra procesos de educación ambiental intercultural y la participación esencial de la comunidad, lo que se traduce en apropiación del sistema por parte de la comunidad. En ese sentido, la integración de los saberes tradicionales y conocimientos técnicos propicia la articulación de un modelo de gestión que se gesta desde el territorio y para el territorio en línea con el marco de la sostenibilidad y la perspectiva de la economía circular (Leknoi y col.,2024). Así, se confirma que la valorización de la fracción orgánica a través de un proceso de compostaje establece una alternativa técnica y social-ambiental asequible para poblaciones indígenas insulares, permeando significativamente en la generación de productos pertinentes para el mejoramiento del suelo y, por ende, la transición hacia modelos de gestión integral de RSU de forma autogestivo y replicables en comunidades con características contextuales semejantes.

## Referencias

Agya, B. A., Rückert, A., & Dornack, C. (2024). Effectiveness of traditional solid waste management system of rural communities: A case study in the Kwahu East District, Ghana. *Environmental Challenges*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100869>

Campos, A., Orozco, S., Rivero, M., López, B. *Estrategias para la gestión de residuos sólidos urbanos en las comunidades P'urhépechas*. Capítulo 8. Educación ambiental y Tecnologías Sustentables: Propuestas y Prácticas para un futuro socialmente responsable.2025.pg.215-243.Universidad Intercultural Indígena de Michoacán. ISBN: [978-607-938627-6](https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2024.200238)

Leknoi, U., Painmanakul, P., Chawaloeshphonsiya, N., Wimolsakcharoen, W., Samritthinanta, C., & Yienthaisong, A. (2024). Building sustainable community: Insight from successful waste management initiative. *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2024.200238>

Pajura, R. (2024). *Composting municipal solid waste and animal manure in response to the current fertilizer crisis: A recent review*. *Science of the Total Environment*, 912, 169221. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169221>



## Análisis cinético y mecanístico de la co-pirólisis catalítica de polipropileno y biomasa (cáñamo industrial)

Milagros Permuy Vidal<sup>a</sup>, Jorge E. Colman Lerner<sup>b</sup>, Jorge Sambeth<sup>c</sup>, \*

<sup>a</sup> [milagros.permuyvidal@gmail.com](mailto:milagros.permuyvidal@gmail.com) , CINDECA (UNLP-CONICET-CICPBA), La Plata,

<sup>b</sup> [jecolman@gmail.com](mailto:jecolman@gmail.com) , CINDECA (UNLP-CONICET-CICPBA), La Plata, Argentina

<sup>c</sup> [sambeth@quimica.unlp.edu.ar](mailto:sambeth@quimica.unlp.edu.ar) , CINDECA (UNLP-CONICET-CICPBA), La Plata, Argentina

**Palabras clave:** Polipropileno, Biomasa, Catálisis, Mecanismos de reacción

### Resumen

La copirólisis de residuos plásticos y biomasa constituye una estrategia relevante para la valorización de residuos en el contexto de la economía circular, en este trabajo se analizó la reacción de copirólisis de polipropileno (PP) proveniente de bandejas de alimentos y biomasa (B, cáñamo industrial) en proporciones de 70:30, 50:50 y 30:70 de PP:B. Como catalizador una bentonita patagónica. El estudio del proceso se realizó por medio de la técnica TGA con rampas de 5, 10 y 20 K/min entre 298 y 773 K. Se evaluaron los TGA por los métodos FWO y KAS para determinar la energía de activación en función de la conversión ( $\alpha$ ), y el modelo de Criado para analizar el mecanismo de reacción.

En la Tabla 1 se muestran los valores de la Eact promedio calculadas por FWO y KAS.

**Tabla 1.** Energía de activación promedio por sistema

| Sistema               | Ea promedio (kJ/mol) | Comportamiento            |
|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| PP                    | 160–180              | Constante                 |
| PP + catalizador      | 90–120               | Disminución significativa |
| Biomasa               | 230–480              | Altamente variable        |
| Biomasa + catalizador | 120–280              | Reducción parcial         |
| 70PP–30Bio + cat      | 140–160              | Sinergia alta             |
| 50PP–50Bio + cat      | 230–280              | Intermedio                |
| 30PP–70Bio + cat      | 220–290              | Dominio biomasa           |

Los resultados obtenidos muestran que hay un efecto positivo del catalizador en tanto en el PP como en la B, y por encima del 50 % de B el proceso dado el aumento de la Eact, no muestra una sinergia en la pirólisis, debido a predominio de la B en el proceso.

En la Tabla 2 se muestran el análisis de los modelos de Criado, que señalan que un bajo porcentaje de biomasa es favorable para el proceso, como se ve por la alta interacción y un mecanismo pseudo-unimodal, superado el 50% de B hay una pérdida de la efectividad de la pirólisis del PP.



**Tabla 2.** Resultados del modelo de Criado

| Sistema               | Tipo de mecanismo | Característica                  |
|-----------------------|-------------------|---------------------------------|
| PP                    | Unimodal          | Reacción homogénea              |
| PP + catalizador      | Unimodal          | Reaccion Homogénea              |
| Biomasa               | Multietapa        | Hemicelulosa, celulosa, lignina |
| Biomasa + catalizador | Multietapa        | Hemicelulosa, celulosa, lignina |
| 70PP–30Bio + cat      | Pseudo-unimodal   | Alta interacción                |
| 50PP–50Bio + cat      | Intermedio        | Superposición de mecanismos     |
| 30PP–70Bio + cat      | Multietapa        | Baja interacción                |

El polipropileno presenta un comportamiento cinético caracterizado por una  $E_a$  prácticamente constante, lo que indica un mecanismo dominado por la ruptura aleatoria de cadenas (Burra et al. 2018, Sadiq et al, 2012 ). La incorporación de catalizador reduce significativamente la energía de activación, evidenciando la transición hacia mecanismos catalíticos tipo carbocatiónico (Burra et al. 2018).

La biomasa exhibe un comportamiento multietapa con alta variabilidad en la  $E_a$ , asociado a la descomposición de hemicelulosa, celulosa y lignina (Mahboob et al., 2020). En las mezclas, se observa un comportamiento fuertemente dependiente de la composición, el sistema 70PP–30Bio, la  $E_{act}$  disminuye significativamente respecto a la biomasa, indicando un efecto sinérgico positivo. Este efecto se atribuye a la transferencia de hidrógeno desde el PP hacia los fragmentos de biomasa, lo que facilita la ruptura de enlaces y estabiliza intermediarios reactivos (2). En la mezcla 50:50, un comportamiento intermedio, y en 30–70, la B domina el comportamiento cinético, con altas  $E_{act}$  y un mecanismo multietapa. En este caso, la contribución del PP no es suficiente para inducir un efecto sinérgico significativo. El análisis mediante el modelo de Criado confirma estos resultados, mostrando una transición desde curvas complejas (biomasa) hacia perfiles más simples en PP. La presencia del catalizador produce una disminución notable de la  $E_{act}$ , promoviendo además un cambio en el mecanismo hacia procesos catalíticos más eficientes. En este contexto, la mezcla compuesta por 70% PP y 30% B, presenta el mayor efecto sinérgico, caracterizado por una reducción de las barreras energéticas y una simplificación del mecanismo global. Este comportamiento puede atribuirse al rol del PP como donador de hidrógeno y generador de radicales (Mahboob et al., 2020), facilitando la descomposición de la B, en contraste, un alto contenido de B mantiene una mayor complejidad cinética, asociada a mecanismos multietapa.

## Referencias

Burra K., Gupta A., (2018) *Appl. Energy* 220, 408—418

Sadiq T., Zhang L., Dalai A.. (2021) *ACS Omega* 6 (34), 22233-22247

Mahboob A., Anjireddy B., Ashirbad J. et al. (2020) *Renew. Energy*, 149, 1133



## Eficiencia hídrica y valorización proteica del aquafaba en servicios de alimentación: optimización del proceso en un comedor industrial

**Mariana Pieroni<sup>a\*</sup>, María Ángeles Guraya<sup>b</sup>, Ezequiel Godoy<sup>c</sup>, María Agustina Reinheimer<sup>d</sup>**

<sup>a</sup> [mpieroni@ucel.edu.ar](mailto:mpieroni@ucel.edu.ar), Universidad del Centro Educativo Latinoamericano (UCEL), Rosario Argentina.

<sup>b</sup> [mguraya@ucel.edu.ar](mailto:mguraya@ucel.edu.ar), UCEL, Rosario, Argentina; Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Rosario, Argentina.

<sup>c</sup> [ezgodoy@frro.utn.edu.ar](mailto:ezgodoy@frro.utn.edu.ar), Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Facultad Regional Rosario, Argentina.

<sup>d</sup> [areinheimer@ucel.edu](mailto:areinheimer@ucel.edu), UCEL, Rosario, Argentina CONICET, Rosario, Argentina.

**Palabras clave:** economía circular; uso eficiente del agua; valorización de residuos

### Resumen

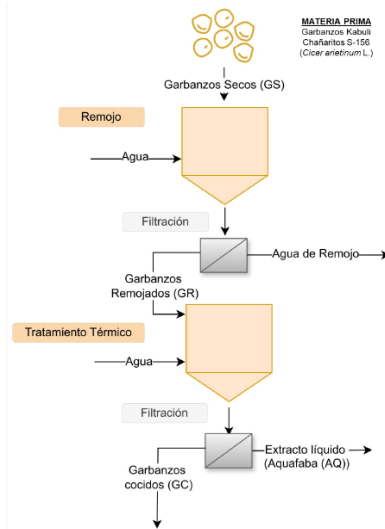
El aquafaba (AQ), líquido resultante del procesamiento térmico de legumbres, constituye un subproducto con potencial de valorización en servicios de alimentación, donde habitualmente es descartado. En este contexto, el presente trabajo se desarrolló en un comedor industrial de la ciudad de Capitán Bermúdez (Santa Fe, Argentina), con el objetivo de evaluar la eficiencia hídrica del proceso y la recuperación de compuestos proteicos a partir de garbanzos tipo Kabuli (*Cicer arietinum* L.) y su aquafaba, mediante la comparación de diferentes condiciones operativas.

Se comparó el procedimiento de cocción habitual del comedor denominado PC, caracterizado a partir de registros y observaciones sistemáticas, con dos procesos estandarizados PE1 (basado en Stantiall et al., (2018)) y PE2 (adaptación de PE1). El proceso, esquematizado en la Figura 1, contempla un remojo de los garbanzos secos (GS), luego se descarta el agua y los garbanzos remojados (GR) se someten a tratamiento térmico, para obtener luego por filtración los garbanzos cocidos (GC) y el aquafaba (AQ). Las condiciones operativas de cada proceso se reportan en la Tabla 1. El contenido de proteínas total de GC y AQ fueron determinados mediante el método Kjeldahl 2001.11 AOAC (2005). Además, se determinaron indicadores de performance, incluyendo consumo de agua total (remojo más tratamiento térmico) y volumen de aquafaba generado, junto con la eficiencia hídrica, definida como la relación entre el volumen de aquafaba obtenido y el agua total utilizada, información presentada también en la Tabla 1.

El contenido proteico de los garbanzos cocidos no presentó variaciones significativas entre tratamientos, preservando la calidad del alimento principal. En contraste, los procesos estandarizados PE1 y PE2 permitieron incrementar significativamente el contenido proteico del aquafaba respecto al proceso convencional PC. En términos de eficiencia hídrica, PE2 mostró mejor desempeño que PE1, al alcanzar volúmenes de AQ comparables con un menor consumo total de agua, asociado principalmente a la optimización de la etapa de remojo.







**Figura 1.** Proceso de obtención de aquafaba a partir de garbanzo Kabuli (*Cicer arietinum L.*)

**Tabla 1.** Condiciones operativas, indicadores de performance, eficiencia hídrica y contenido proteico

| Proceso | Remojo<br>(h;<br>GS:agua) | Tratamiento<br>térmico<br>(min;<br>GR:agua) | Agua<br>total<br>(L/kg GS) | Rendimiento<br>AQ<br>(L/kg GS) | Eficiencia<br>hídrica<br>(L AQ/L<br>agua) | Proteína AQ<br>(% bs)     | Proteína<br>GC<br>(% bs)  |
|---------|---------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| PC      | 8 h; 1:2                  | 20 min; 1:1,5                               | 4,86                       | 1,90                           | 0,39                                      | 17,03 ± 0,21 <sup>b</sup> | 25,96 ± 0,99 <sup>a</sup> |
| PE1     | 16 h; 1:3,3               | 90 min; 1:1,75                              | 6,76                       | 1,84                           | 0,27                                      | 25,38 ± 0,31 <sup>a</sup> | 27,27 ± 0,43 <sup>a</sup> |
| PE2     | 16 h; 1:2                 | 90 min; 1:1,75                              | 5,46                       | 1,82                           | 0,33                                      | 26,50 ± 1,49 <sup>a</sup> | 27,94 ± 0,77 <sup>a</sup> |

En conjunto, los resultados demuestran que la estandarización del proceso permite transformar un residuo en un ingrediente funcional con mayor valor nutricional dada la solubilización de proteínas hacia el aquafaba. Resultados similares fueron reportados por Choden et al., (2023) donde obtiene un aquafaba a partir de garbanzo con carbohidratos solubles, proteínas de bajo peso molecular y compuestos fenólicos, lo que explica sus propiedades funcionales. En particular, las proteínas tipo albúmina contribuyen a su capacidad emulsificante y espumante, mientras que los polisacáridos y compuestos fenólicos aportan estabilidad, sustentando su potencial como ingrediente funcional. Por su parte, la mejora en la eficiencia hídrica en PE2 evidencia además la posibilidad de reducir el consumo de agua sin afectar la generación de aquafaba. Este enfoque contribuye a la gestión del desperdicio alimentario en servicios de alimentación institucionales, en el marco de la economía circular. Asimismo, posiciona al aquafaba como un ingrediente con potencial para su incorporación en formulaciones alimentarias, particularmente en productos de base vegetal. Como línea futura, se propone evaluar su desempeño en bebidas a base de garbanzos fermentadas con bacterias ácido lácticas y las propiedades del producto final.

## Referencias:

- AOAC. (2005). Official methods of analysis of AOAC International.
- Choden, N., Odelli, D., Casanova, F., Petersen, H. O., Ajalloueian, F., & Feyissa, A. H. (2023). Effect of the extraction process parameters on aquafaba composition and foaming properties. *Applied Food Research*, 3(2), 100354. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100354>
- Stantiall, S. E., Dale, K. J., Calizo, F. S., & Serventi, L. (2018). *European Food Research and Technology*, 244, 97-104. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2943-x>



## Preparación de biocatalizadores a partir de PET reciclado. Inmovilización de lipasa CALB y evaluación de su actividad.

Agata E. Salvatore<sup>1</sup>, Carlos R. Llerena Suster<sup>1</sup>, M. Victoria Gallegos<sup>2\*</sup>, Laura Damonte<sup>3</sup>, Laura E. Briand<sup>2</sup>, Jorge Sambeth<sup>2</sup>, Carla José<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Proteínas Vegetales (CIPROVE, CIC PBA- CONICET – FCE UNLP) La Plata, Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup>Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas “Dr. Jorge J. Ronco”(CINDECA, CIC PBA- CONICET – FCE UNLP) La Plata, Buenos Aires, Argentina

<sup>3</sup> Instituto de Física La Plata – (IFLP, CONICET – FCE UNLP) La Plata, Buenos Aires, Argentina

\*[gallegosmariavictoria@gmail.com](mailto:gallegosmariavictoria@gmail.com); \*[carlajose@quimica.unlp.edu.ar](mailto:carlajose@quimica.unlp.edu.ar)

**Palabras clave:** Valorización PET, inmovilización de enzimas, esterificación de ácido oleico, lipasa CALB.

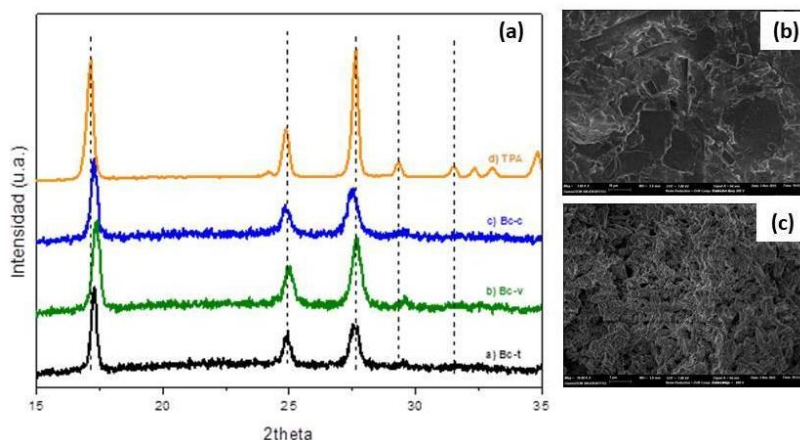
### Resumen

Se presenta una estrategia innovadora para la valorización de residuos de polietilentereftalato (PET) mediante su reciclado químico y posterior utilización como soporte para la inmovilización enzimática. En un contexto de creciente producción y consumo de materiales plásticos, que conlleva a una acumulación sostenida de residuos y a desafíos ambientales significativos, la valorización de estos desechos resulta clave para avanzar hacia modelos de economía circular [1]. En particular, se empleó la glicólisis de botellas de PET de distintos colores para obtener bis(2-hidroxietil) tereftalato (BHET), el cual fue utilizado como precursor en la síntesis de biocatalizadores basados en la lipasa B de *Candida antarctica* (CALB). Este enfoque integra reciclaje de plásticos y biocatálisis, contribuyendo al desarrollo de materiales funcionales en el marco de la química sostenible.

El proceso experimental consistió en la glicólisis de PET triturado de diferentes colores (transparente, verde y celeste) en presencia de etilenglicol a 196 °C, bajo agitación controlada y condiciones reproducibles, seguida de etapas de purificación mediante disolución en agua caliente, filtración y cristalización. Los sólidos obtenidos se llamaron MB-t, MB-c y MB-v y fueron caracterizados mediante espectroscopía FTIR, difracción de rayos X (DRX) y microscopía electrónica de barrido (SEM-EDS), confirmando la formación de BHET con estructura cristalina [2]. Las diferencias estructurales observadas entre los materiales se asocian a la presencia de aditivos y colorantes en el PET de partida, los cuales afectan la cristalinidad y morfología del producto obtenido.

La inmovilización enzimática se llevó a cabo incubando los monómeros obtenidos con una solución de CALB durante 24 h a 37 °C [3]. Los sólidos resultantes fueron recuperados por centrifugación y liofilización, dichos materiales se denominaron Bc-t, Bc-c y Bc-v. Se determinaron la carga proteica y el rendimiento de inmovilización mediante el método de Bradford, obteniéndose valores entre 52 y 65 mg/g y rendimientos entre 45% y 69%. Durante este proceso, se evidenció que la enzima cataliza simultáneamente la hidrólisis del BHET a ácido tereftálico (TPA), el cual forma parte de la matriz del biocatalizador final.





**Figura 1.** (a) Difractogramas de los materiales luego de la incubación con CALB, (b) imagen SEM de MB-t y (c) imagen SEM de Bc-t.

La actividad catalítica de los materiales fue evaluada mediante la reacción de esterificación de ácido oleico con etanol a 45 °C durante 2 horas. La productividad (P) se calculó como la cantidad de producto formado ( $\mu\text{mol}$ ) por gramo de biocatalizador y por unidad de tiempo (min), obteniéndose valores entre 647 y 1039  $\mu\text{mol g}^{-1} \text{min}^{-1}$ . Los biocatalizadores mostraron conversiones entre 48,8% y 78,3%. El material derivado de PET transparente presentó la mayor actividad catalítica. En particular, una mayor actividad podría asociarse a una mejor exposición de la enzima y a interacciones más favorables entre el soporte y el sustrato.

**Tabla 1:** Valores de carga proteica (CP) y productividad (P).

| Soport<br>e | Catalizado<br>r | CP (mg/g) | P ( $\mu\text{mol g min}^{-1}$ ) |
|-------------|-----------------|-----------|----------------------------------|
| MB-v        | Bc-v            | 52,96     | 937 +/- 39                       |
| MB-c        | Bc -c           | 65,14     | 653 +/- 8                        |
| MB-t        | Bc -t           | 56,00     | 997 +/- 60                       |

Los experimentos fueron realizados por triplicado, reportándose valores promedio, lo que garantiza la reproducibilidad de los resultados obtenidos. Los resultados indican que no existe una correlación directa entre la cantidad de enzima inmovilizada y el desempeño catalítico, sino que este depende fuertemente de las propiedades del soporte. En conclusión, el trabajo demuestra la factibilidad de obtener biocatalizadores activos a partir de PET reciclado, destacando el potencial de esta estrategia para aplicaciones en procesos de esterificación, como la producción de biocombustibles. Asimismo, se pone en evidencia la importancia de la naturaleza del residuo plástico en la calidad del material final, siendo preferible el uso de PET transparente o verde para maximizar la actividad catalítica.

## Referencias

- [1] S. Nandi, S. Mahish, S.K. Das, M. Datta, D. Nath. Polym.-Plast. Technol. Mater., 62(13) (2023) 1663–1683.
- [2] F. Scé, I. Cano, C. Martin, G. Beobide, O. Castillo, I. De Pedro; New J. Chem. 43 (2019) 3476–3485.
- [3] C.R. Llerena Suster, M.V. Gallegos, S.E. Collins, L.E. Briand, C. José. Ind. Eng. Chem. Res., 64(37) (2025) 18124-18135.



## Valorización de bagazos de frutas y hortalizas en la reformulación de galletitas reducidas en azúcar y grasa.

Daniela Matjazic<sup>a,\*</sup>, Nadia Linguardi<sup>a,b</sup>, César Bruguezia<sup>a,b</sup>, Selene Kozyra Bilicich<sup>b</sup>, Regina Formigli<sup>a</sup>, Gisela Piccirilli<sup>a,b</sup>, Roxana Verdini<sup>a,b</sup>, Emilce Llopart<sup>a,b</sup>, Marina Soazo<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Universidad Nacional de Rosario (UNR), Rosario, Argentina.

<sup>b</sup> Instituto de Química Rosario (IQUIR, UNR-CONICET), Rosario, Argentina.

\*dmatjazic@fbioyf.unr.edu.ar

**Palabras clave:** bagazos, fibra dietaria, bioaccesibilidad, sustentabilidad

### Resumen

**Introducción:** La valorización de residuos de frutas y hortalizas para su transformación en bioproductos de valor agregado representa una estrategia efectiva para reducir el desperdicio de alimentos y, al mismo tiempo, mejorar la calidad nutricional de los alimentos procesados (Thomas et al., 2025). Las galletitas, típicamente altas en azúcar y grasa, constituyen buenos candidatos para su reformulación (Fanzo et al., 2023). El objetivo fue desarrollar galletitas reduciendo el contenido de azúcar y aceite respecto de una formulación control, utilizando bagazos de frutas y hortalizas; y analizar su composición química y la bioaccesibilidad gastrointestinal de compuestos antioxidantes.

**Materiales y Métodos:** Se obtuvieron tres bagazos a partir de jugos de frutas y hortalizas: B1 (naranja 56%, zanahoria 18%, ananá 18%, limón 7%, jengibre 1%), B2 (zanahoria 33%, remolacha 28%, manzana 26%, limón 13%) y B3 (manzana 43%, pera 40%, naranja 16%, rábano 1%). Los bagazos se secaron (100 °C, humedad <15 %) y se molieron. Se determinó su composición química: humedad, cenizas, proteínas, fibra dietaria total (FDT), insoluble (FDI) y soluble (FDS), y azúcares (reductores, no reductores y totales) según AOAC, todos los análisis se realizaron por triplicado.

Se formularon galletitas control y, a partir de ellas, se elaboraron versiones con una reducción del 50% en aceite y del 60% en azúcar, compensando dichas reducciones con la incorporación de B1, B2 o B3, denominadas GB1, GB2 y GB3, respectivamente. Se evaluó su composición química proximal y, tras digestión *in vitro* (protocolo INFOGEST 2.0), se analizaron las fracciones solubles para determinar actividad antioxidante (AA) (ABTS), expresada como mg equivalentes de Trolox por 100 g de muestra (mg ET/100 g) y polifenoles totales (PF) (Folin–Ciocalteu), expresados como mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de muestra (mg EAG/100 g). El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA con el software *Minitab*.

**Resultados:** La composición química de los bagazos y galletitas se muestra en la **Tabla 1**. Los bagazos presentaron baja humedad (<7%) y un alto contenido de FDT, tanto insoluble como soluble. B2 presentó un mayor contenido de cenizas y proteínas, asociado a su mayor proporción de vegetales, mientras que B3 presentó los valores más bajos, en línea con su origen principalmente frutal. Respecto a los azúcares, B1 y B3 tuvieron niveles similares y más elevados (30-34%), coherentes con la composición de las materias primas. Además, B3 mostró el mayor contenido de azúcares reductores (28%), seguido por B1 (20%) y luego B2 (9%).





**Tabla 1.** Composición química de bagazos y galletitas.

| (%)                  | B1                     | B2                     | B3                     | GB1                    | GB2                    | GB3                    |
|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| <b>Humedad</b>       | 6,86±0,02 <sup>a</sup> | 4,54±0,01 <sup>c</sup> | 5,4±0,1 <sup>b</sup>   | 18,2±0,1 <sup>A</sup>  | 16,3±0,1 <sup>B</sup>  | 18,2±0,1 <sup>A</sup>  |
| <b>Cenizas</b>       | 4,11±0,05 <sup>b</sup> | 6,00±0,03 <sup>a</sup> | 1,94±0,05 <sup>c</sup> | 1,33±0,03 <sup>B</sup> | 1,56±0,08 <sup>A</sup> | 0,80±0,01 <sup>C</sup> |
| <b>Proteínas</b>     | 6,2±0,2 <sup>b</sup>   | 9,5±0,2 <sup>a</sup>   | 2,9±0,3 <sup>c</sup>   | 7,0±0,03 <sup>B</sup>  | 7,40±0,01 <sup>A</sup> | 5,7±0,05 <sup>C</sup>  |
| <b>FDT</b>           | 48±5 <sup>a</sup>      | 42±1 <sup>a</sup>      | 40±4 <sup>a</sup>      | 9,8±0,3 <sup>A</sup>   | 10,3±0,3 <sup>A</sup>  | 11±2 <sup>A</sup>      |
| <b>FDS</b>           | 16±3 <sup>a</sup>      | 11±2 <sup>a</sup>      | 10±3 <sup>a</sup>      | 3,9 ±0,1 <sup>B</sup>  | 3,6±0,4 <sup>B</sup>   | 4,7 ±0,1 <sup>A</sup>  |
| <b>FDI</b>           | 32±1 <sup>a</sup>      | 31±1 <sup>a</sup>      | 30±3 <sup>a</sup>      | 6,0 ±0,4 <sup>A</sup>  | 6,7±0,1 <sup>A</sup>   | 6,8±0,1 <sup>A</sup>   |
| <b>Grasa</b>         | -                      | -                      | -                      | 7,0±0,9 <sup>A</sup>   | 8,1±0,2 <sup>A</sup>   | 7,8±0,2 <sup>A</sup>   |
| <b>Carbohidratos</b> | -                      | -                      | -                      | 56±2 <sup>A</sup>      | 56,4±0,5 <sup>A</sup>  | 56±1 <sup>A</sup>      |

Promedio ± DS (n=3). Letras minúsculas diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre bagazos. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre galletitas.

Las GB1 y GB3 mostraron mayor humedad. El contenido de cenizas fue más alto en las GB2, reflejando su mayor aporte mineral. Se observaron diferencias poco marcadas en el aporte proteico. El contenido de FDT fue elevado en todas las formulaciones, confirmando su contribución como ingrediente rico en fibra. Este enriquecimiento en fibra puede contribuir a alcanzar la ingesta diaria recomendada de 25 g, lo que resulta especialmente relevante dado que las galletitas son snacks comúnmente consumidos, ofreciendo un vehículo práctico para aumentar la ingesta de dicho nutriente.

Tras la digestión *in vitro*, las galletitas mostraron altos niveles de AA, con valores de 3539±94, 3568±79 y 3532±124 mg TE/100 g para GB1, GB2 y GB3, respectivamente. Asimismo, el contenido de PF fue de 312±15 y 327±20 mg EAG/100 g para GB1 y GB2, siendo significativamente más bajo para GB3 (176±12 mg EAG/100 g), lo que evidencia una buena presencia y/o liberación de compuestos fenólicos tras la digestión. Estas diferencias pueden atribuirse a variaciones en la composición de los bagazos, particularmente en el tipo, estabilidad y disponibilidad de los compuestos fenólicos y otros antioxidantes.

**Conclusiones:** La incorporación de bagazo junto con la reducción de aceite y azúcar demostró ser una estrategia eficaz para mejorar la calidad nutricional de las galletitas. El uso de bagazos incrementó el contenido de fibra dietaria y las galletitas reformuladas presentaron altos niveles de PF y AA tras la digestión *in vitro*, lo que indica la potencial bioaccesibilidad de componentes bioactivos. Esta estrategia contribuye al aprovechamiento sostenible de subproductos de la industria alimentaria, promoviendo prácticas de economía circular y agregando valor a materiales frecuentemente subutilizados.

## Referencias

- Thomas, F., Abebe, G., Emenike, C., & Martynenko, A. (2025). *Food Res Int.* 220:117149.
- Fanzo, J., McLaren, R., Bellows, A., & Carducci, B. (2023). *Food Policy.* 119:102515.



# **Efecto de la deslignificación previa sobre la producción de ácido levulínico a partir de aserrín de quebracho**

Pablo D. Campagna<sup>a</sup>, Marisa Falco<sup>b</sup>, Melisa Bertero<sup>c</sup>.

<sup>a</sup> [pdcampagna@fiq.unl.edu.ar](mailto:pdcampagna@fiq.unl.edu.ar), INCAPE (CONICET-UNL), Santa Fe de la Vera Cruz, Argentina

<sup>b</sup> [mfalco@fiq.unl.edu.ar](mailto:mfalco@fiq.unl.edu.ar), INCAPE (CONICET-UNL), Santa Fe de la Vera Cruz, Argentina

<sup>c</sup> [mbertero@fiq.unl.edu.ar](mailto:mbertero@fiq.unl.edu.ar), INCAPE (CONICET-UNL), Santa Fe de la Vera Cruz, Argentina

**Palabras clave:** deslignificación, quebracho, biomasa, ácido levulínico.

## **Resumen**

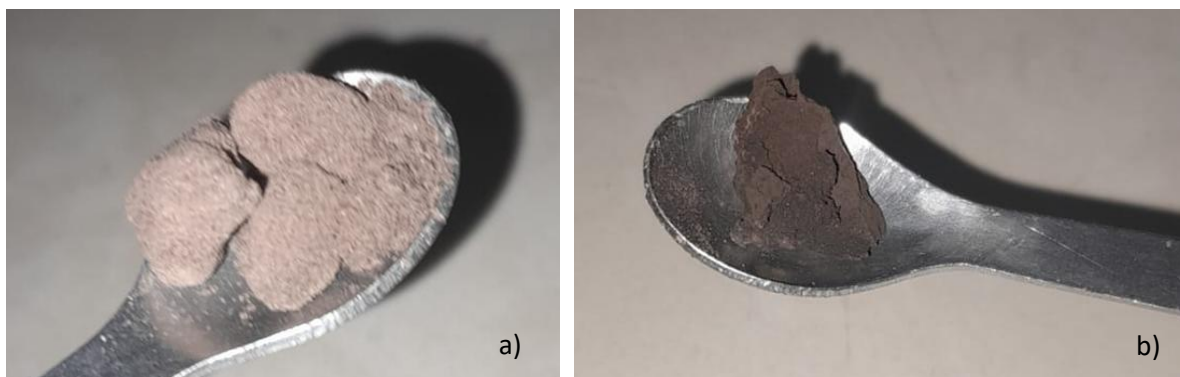
El aserrín de quebracho (AQ, *Schinopsis balansae*) es un residuo industrial proveniente de las plantas de extracción de taninos, localizadas principalmente en el norte de Argentina. Debido a su contenido de celulosa, cercano al 40 %p, este residuo puede considerarse una materia prima promisoría para la producción de ácido levulínico (AL), uno de los compuestos de plataforma más relevantes dentro del esquema de biorrefinería (Chen et al., 2017). Sin embargo, el AQ también presenta un elevado contenido de lignina, superior al 38 %p, lo que dificulta la hidrólisis ácida de la fracción celulósica y favorece reacciones de recondensación que conducen a la formación de huminas, disminuyendo tanto el rendimiento como la facilidad de separación y purificación del AL (Yoon et al., 2014). La producción de ácido levulínico a partir de biomasa lignocelulósica ocurre mediante la hidrólisis ácida de la celulosa a glucosa, seguida de su deshidratación a 5-hidroximetilfurfural y posterior rehidratación para formar ácido levulínico y ácido fórmico. En este contexto, la incorporación de una etapa de deslignificación previa surge como una estrategia adecuada para mejorar la valorización química de esta biomasa (Reales et al., 2016). Trabajos previos del grupo mostraron que el tratamiento alcalino con NaOH sobre aserrín de quebracho permite remover eficientemente la lignina y obtener sólidos enriquecidos en celulosa, siendo la temperatura una de las variables operativas más influyentes sobre el grado de deslignificación. Bajo condiciones severas, fue posible eliminar completamente la lignina y conservar alrededor del 81 % de la celulosa inicial, evidenciando el potencial de este pretratamiento para aplicaciones en biorrefinería (Campagna et al., 2024). En este trabajo se estudió la producción de AL a partir de AQ, evaluando específicamente el efecto de incorporar una etapa previa de deslignificación. Esta etapa se llevó a cabo en un reactor batch discontinuo a 150 °C y presión autógena durante 90 min, utilizando NaOH 1 N. El sólido obtenido, denominado aserrín de quebracho deslignificado (AQD), presentó una composición significativamente modificada respecto del material original: el contenido de celulosa se duplicó, mientras que el de lignina se redujo en un 70 % (ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Contenido biopolimérico porcentual expresado en base seca.

| Biopolímero  | AQ    | AQD   |
|--------------|-------|-------|
| Celulosa     | 38,28 | 78,20 |
| Hemicelulosa | 20,17 | 18,77 |
| Lignina      | 39,30 | 13,39 |



Posteriormente, la producción de AL a partir de AQ y AQD se realizó en un reactor tanque agitado discontinuo de 300 ml a 190 °C y presión autógena durante 90 min, empleando  $H_2SO_4$  0,1 M como catalizador. El rendimiento a AL se definió como la relación porcentual entre la masa de AL obtenida experimentalmente y la masa máxima teórica calculada a partir de la celulosa presente en la materia prima. Los resultados mostraron que el pretratamiento tuvo un efecto altamente favorable: el rendimiento a AL aumentó de 11 %p para AQ a 26 %p para AQD. Además, cuando se utilizó AQD se obtuvo un residuo sólido con mucho menor contenido humínico, más fácil de separar del licor de reacción (ver *Figura 1*)., y un líquido de coloración más clara, indicando una menor presencia de subproductos solubles.



**Figura 1.** Residuo sólido de reacción de producción de AL partiendo de AQD (a) y de AQ (b)

En conclusión, la deslignificación previa del aserrín de quebracho constituye una estrategia efectiva para mejorar la producción de ácido levulínico, ya que incrementa el rendimiento y la selectividad al producto deseado y reduce significativamente la formación de huminas. Estos resultados refuerzan el interés en el aprovechamiento integral de este residuo agroindustrial dentro de esquemas de valorización sustentable.

## Referencias

Campagna, P., Falco, M., & Bertero, M. (2024). Deslignificación de *Schinopsis balansae* (quebracho colorado) bajo diferentes condiciones de reacción. En O. M. Fernández, E. Ortiz Rocchetti, y R. F. Navas (Comps.), *Memorias del Encuentro Argentino de Ingeniería 2024* (pp. 1224–1226). Universidad Nacional de San Juan.

Chen S. S., Maneerung T., Tsang D. C. W., Sik Ok W., Wang C. H.. (2017). Valorization of biomass to hydroxymethylfurfural, levulinic acid, and fatty acid methyl ester by heterogeneous catalysts. *Chemical Engineering Journal*, 328, 246-273. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.07.020>.



## Gestión de residuos de baterías de ion-litio: enfoques para su tratamiento y valorización

Milena Marino<sup>a\*</sup>, Valentina Prieto Comelli<sup>b</sup>, Irene Giusti<sup>c</sup>, Martín Ramon<sup>b</sup>, M. Victoria Gallegos<sup>b</sup>, Jorge Sambeth<sup>b</sup> Andrés Peluso<sup>a</sup>.

<sup>a</sup> [mmarino@exactas.unlp.edu.ar](mailto:mmarino@exactas.unlp.edu.ar), Laboratorio UPL (CICPBA-UNLP), La Plata, Buenos Aires, Argentina.

<sup>b</sup> Centro de investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas "Dr. Jorge J. Ronco" (UNLP, CONICET, CICPBA), La Plata, Buenos Aires, Argentina

<sup>c</sup> Università de Bologna, Dipartimento de Ingegneria Industriale, Bologna, Italia

**Palabras clave:** Baterías Li-ion; pretratamiento; caracterización; reciclaje

### Resumen

El incremento sostenido en el uso de baterías de ion-litio ha generado un creciente volumen de residuos, lo que plantea desafíos ambientales asociados a su disposición final y, a su vez, oportunidades para la recuperación de materiales estratégicos [1]. En este contexto, la valorización de baterías en desuso requiere el desarrollo de metodologías seguras y eficientes que permitan su tratamiento integral.

En el presente trabajo se aborda el estudio de etapas clave en el procesamiento de baterías de ion-litio, incluyendo su descarga, apertura y caracterización, como pasos fundamentales previos a su reciclaje [2].

En la etapa de descarga, se evaluaron métodos mediante soluciones electrolíticas (KCl, ZnSO<sub>4</sub> y Mn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) y un sistema eléctrico controlado. Los resultados mostraron que el método eléctrico permite una descarga más rápida y eficiente, alcanzando valores cercanos a 0 V en menor tiempo. En solución, se observaron comportamientos dependientes del electrolito: KCl favoreció una descarga progresiva debido a su alta conductividad y ausencia de especies redox activas, mientras que ZnSO<sub>4</sub> y Mn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> presentaron una mayor persistencia del voltaje, atribuida a fenómenos de polarización y reacciones redox competitivas. Este comportamiento concuerda con lo reportado en la literatura, donde se destaca la influencia del electrolito en la eficiencia de descarga [3]. En conjunto, estos resultados resaltan la ventaja del método eléctrico como alternativa más rápida y controlada.

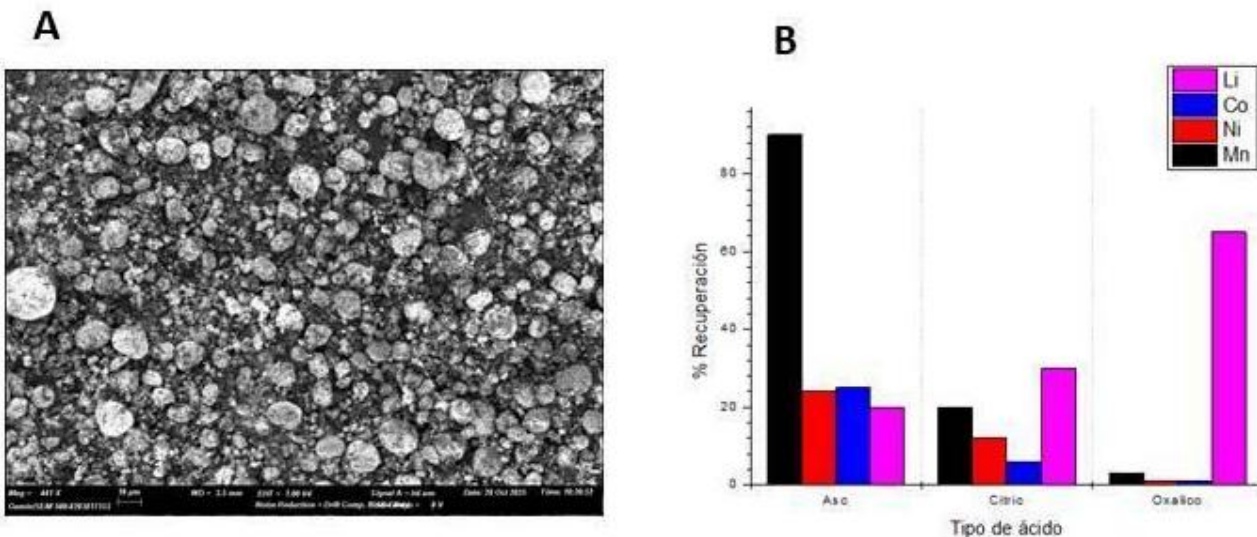
Para la recuperación de los materiales activos de las baterías NMC, se aplicó un tratamiento mecánico, que incluyó la apertura de la carcasa mediante herramientas como morsa, sierra y amoladora. Posteriormente, las celdas cilíndricas fueron descargadas durante 72 horas para evitar riesgos asociados a cortocircuitos y a la presencia de electrolitos orgánicos volátiles. Luego, se procedió a la apertura manual de las celdas, permitiendo la separación del cátodo, ánodo y separador. El material activo fue aislado mediante un tratamiento térmico a 400 °C durante 1 hora, con el fin de eliminar el binder polimérico (generalmente PVDF), seguido de una separación mecánica del material sobre la lámina de aluminio.

La composición elemental del material catódico se analizó mediante absorción atómica confirmando la presencia de metales de interés como Mn, Ni y Co. La estructura cristalina fue evaluada por difracción de rayos X (DRX), permitiendo identificar las fases características de los materiales tipo óxidos mixtos. Por otro lado, la microscopía electrónica de barrido (SEM) acoplada a EDS permitió analizar la morfología superficial evidenciando partículas heterogéneas propias de materiales reciclados. Finalmente, se evaluó la lixiviación con ácidos orgánicos como alternativa sustentable para la recuperación de metales de interés. Los resultados evidenciaron que el ácido ascórbico favorece la recuperación de metales de transición como Ni y Co, mientras que el ácido cítrico promueve la disolución de Mn y Li. Por su parte, el ácido oxálico mostró





una marcada selectividad hacia el litio, alcanzando una recuperación del 65%. Estos resultados destacan la influencia del agente lixivante en la selectividad del proceso y el potencial de los ácidos orgánicos en estrategias de recuperación sustentable.



**Figura 1. A.** SEM del material NMC después de su calcinación. **B.** Recuperación de metales de acuerdo al ácido utilizado.

Los resultados destacan la importancia de un adecuado pretratamiento, incluyendo descarga, desensamblado y caracterización, para el manejo seguro y eficiente de baterías de ion-litio en desuso. El método eléctrico mostró mayor eficacia en la descarga, mientras que las soluciones presentan limitaciones asociadas a interacciones electroquímicas. Asimismo, la lixiviación con ácidos orgánicos evidencia un alto potencial para la recuperación selectiva de metales, en línea con estrategias sustentables de valorización de residuos.

## Referencias:

- [1] Zeng, X., Li, J., & Singh, N. (2014). Recycling of spent lithium-ion battery: A critical review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44(10), 1129–1165.
- [2] Harper, G., Sommerville, R., Kendrick, E., Driscoll, L., Slater, P., Stolkin, R., Walton, A., Christensen, P., Heidrich, O., Lambert, S., Abbott, A., Ryder, K., Gaines, L., & Anderson, P. (2019). Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. *Nature*, 575, 75–86.
- [3] Li, Y., et al. (2020). Discharge process of spent lithium-ion batteries in salt solutions and its environmental impact. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119665.



# Efecto de la concentración elemental orgánica en biorresiduos sobre la temperatura de flama adiabática.

**Fernando Damián Barajas-Godoy<sup>a\*</sup>, José Guadalupe Rutiaga-Quiñones<sup>\*b</sup>, Marco Antonio Martínez-Cinco<sup>c</sup>.**

<sup>a</sup> [fbarajas@umich.mx](mailto:fbarajas@umich.mx), Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

<sup>b</sup> [jose.rutiaga@umich.mx](mailto:jose.rutiaga@umich.mx), Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

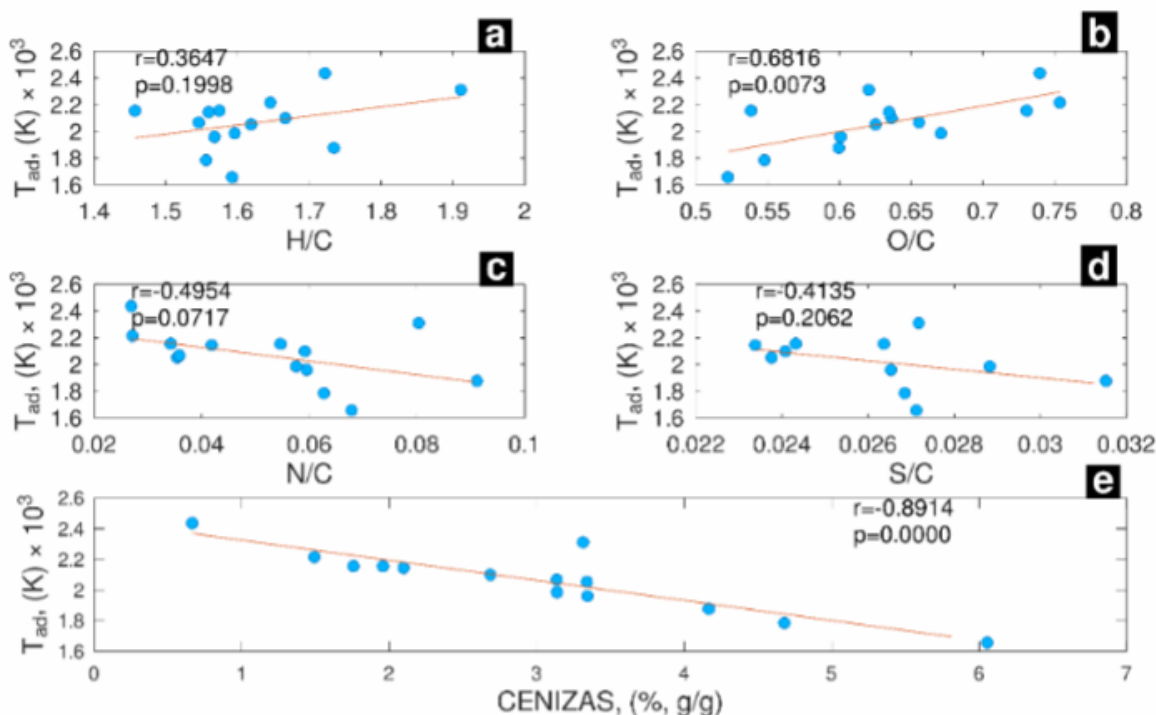
<sup>c</sup> [marco.martinez@umich.mx](mailto:marco.martinez@umich.mx), Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

**Palabras clave:** Biorresiduos, Valorización, Biomasa, Conversión-Termoquímica.

## Resumen

El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto de la composición elemental orgánica sobre la temperatura de flama adiabática ( $T_{ad}$ ) en la conversión termoquímica de biorresiduos domésticos (BRD)-constituidos aleatoriamente por cascara de verduras y frutas-. La composición elemental orgánica es especialmente útil para determinar la relación estequiométrica combustible-aire ( $m_c/m_a$ ), y los productos de combustión (Nagarajan & Prakash, 2021); mas, la relación estequiométrica  $m_c/m_a$  no es suficiente para definir la operación de un quemador; típicamente se requiere un exceso de aire (Flagan & Seinfeld, 1988). La utilidad y el desempeño del biocombustible sólido (BCS) como fuente de energía requiere estudiar sus propiedades termoquímicas (Civitarese et al., 2023). La muestra de BRD estudiados se compone de 14 tipos de cáscaras de verduras y frutas. Se determinó su formula química general y su relación  $m_c/m_a$ . Se analizó estadísticamente la correlación de la  $T_{ad}$  contra las razones atómicas de elementos orgánicos (Figura 1). Las correlaciones significativas se determinaron mediante el coeficiente de Pearson y su valor-p, con  $n = 14$  y un nivel de significancia del 5%. Se observó que la  $T_{ad}$  tiende a incrementarse en proporción directa con H/C, aunque no presenta un correlación significativa ( $r = 0.3647$ ,  $p = 0.1998$ ) (Figura 1a). La correlación entre  $T_{ad}$  y O/C es la única significativa entre las razones atómicas ( $r = 0.6815$ ,  $p = 0.0072$ ) (Figura 1b), esto indica que O/C gobernaría el rango de operación de  $T_{ad}$  en un quemador más que los cambios en H/C, N/C y S/C. En contraste,  $T_{ad}$  tiende a disminuir al aumentar N/C y S/C (Figura 1 c y d, respectivamente). Este hallazgo resalta la necesidad de un tratamiento para eliminar N y S, tanto para prevenir la formación de  $SO_x$  y  $NO_x$  como para eliminar su influencia negativa sobre  $T_{ad}$ , dado que típicamente se presentan temperaturas bajas (800 – 1200 °C) en quemadores de plantas operadas con BCS. La correlación lineal entre la  $T_{ad}$  y el contenido de cenizas (CZS) (Figura 1e) es significativa ( $r = -0.8914$  y  $p = 0.000018$ ); muestra que  $T_{ad}$  es mas sensible a los cambios en el valor de CZS que incluso a O/C, por lo que es crucial su eliminación. Se encontró que el valor promedio de  $T_{ad}$  para los BRD ( $2064.39 \pm 204.9$  K) es menor al rango (2227 - 2309 K) reportado previamente para combustibles convencionales (diesel, keroseno y gas natural) por (Glaude et al., 2010) y a los valores (2100 a 2600 K) reportados previamente para carbón pulverizado por (Pershing & Wendt, 1977).





**Figura 1.** Influencia de la relación atómica de a) H/C, b) O/C, c) N/C, d) S/C y e) Cenizas, sobre la temperatura de flama adiabática de biorresiduos.

## Referencias:

- Civitarese, V., Acampora, A., Sperandio, G., Bassotti, B., Latterini, F., & Picchio, R. (2023). A comparison of the qualitative characteristics of pellets made from different types of raw materials. , 2025. <https://doi.org/doi.org/10.3390/f14102025>
- Flagan, R., & Seinfeld, J. H. (1988). *Fundamentals of air pollution engineering*. Prentice Hall.
- Glaude, P. A., Fournet, R., Bounaceur, R., & Molière, M. (2010). Adiabatic flame temperature from biofuels and fossil fuels and derived effect on NO<sub>x</sub> emissions. *Fuel Processing Technology*, 91, 229–235. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.10.002>
- Nagarajan, J., & Prakash, L. (2021). Preparation and characterization of biomass briquettes using sugarcane bagasse, corncob and rice husk. *Materials Today: Preceedings*, 47(14), 4194–4198. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.457>.
- Pershing, D. W., & Wendt, J. O. L. (1977). Pulverized coal combustion: The influence of flame temperature and coal composition on thermal and fuel NO<sub>x</sub>. *Symposium (International) on Combustion*, 16(1), 389–399. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0082-0784\(77\)80339-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0082-0784(77)80339-1)



## Simbiosis Industrial en Colombia: retos y oportunidades

Carolina Bedoya Muñoz<sup>a</sup>, Luisa Fernanda Mosquera Idrobo<sup>b</sup>, Janneth Torres Agredo<sup>c\*</sup>

<sup>a</sup> [cabedoya@unal.edu.co](mailto:cabedoya@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, Palmira

<sup>b</sup> [lufmosqueraid@unal.edu.co](mailto:lufmosqueraid@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, Palmira

<sup>c</sup> [jtortresa@unal.edu.co](mailto:jtortresa@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, Palmira

**Palabras clave:** Simbiosis industrial, Economía circular, Residuos industriales

### Resumen

La transición hacia modelos de producción sostenibles exige repensar la relación entre los sistemas industriales y su entorno biofísico. Así, la economía circular emerge como una reconfiguración de flujos de materia y energía. En este contexto, la simbiosis industrial se presenta como un enfoque transformador que articula actores industriales en redes de intercambio de subproductos o residuos. A pesar de su consolidación conceptual en Europa, Asia y América del Norte, la simbiosis industrial se encuentra subdesarrollada en América Latina. Esta brecha puede relacionarse con factores como la débil articulación entre las políticas industriales y ambientales, los problemas de gobernanza, la fragmentación institucional y la ausencia de sistemas de información sobre flujos de residuos a escala territorial (Márquez et al., 2025). Desde una perspectiva ambiental y de mejora para la competitividad industrial del país, estas condiciones representan una oportunidad para Colombia; por lo tanto, el presente trabajo tiene como objetivo exponer el contexto de la simbiosis industrial tanto a nivel internacional como nacional, desarrollado en el marco de una tesis de maestría, con el fin de identificar retos y oportunidades para el país.

La simbiosis industrial, como concepto desarrollado en el campo de la ecología industrial, implica que las industrias colaboren entre sí para intercambiar energía, agua, subproductos o residuos, de manera que se optimicen los recursos y se minimicen los residuos. A través de experiencias internacionales se ha identificado que para lograr estos intercambios se requiere una red de conocimientos sobre residuos y subproductos. En las primeras fases de la SI, la adquisición de conocimiento e identificación de oportunidades promueven la conciencia para que se generen intercambios, se mejoren procesos o se creen nuevos modelos de negocio. Esta información base es esencial, ya que la escasez de información ha sido un limitante para el desarrollo de la SI. Generalmente, en la industria, la gerencia no tiene el tiempo o las capacidades para identificar oportunidades o en su defecto, no tiene una comprensión clara sobre SI.

Ejemplos clásicos, como el de Kalundborg, en Dinamarca, y el del National Industrial Symbiosis Programme (NISP), en Reino Unido, han demostrado que la simbiosis ofrece beneficios económicos, ambientales y sociales a largo plazo que contribuyen a la sustentabilidad (Munonye et al., 2025). Algunos casos internacionales se citan en la tabla 1.





**Tabla 1. Casos internacionales**

| Ubicación                                                                      | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| China - Rizhao<br>Economic-<br>Technological<br>Development<br>(RETDA)<br>Area | <ul style="list-style-type: none"> <li>Intercambios de energía, agua y materiales. Ejemplo: cenizas de carbón para materiales de construcción, lodos de tratamientos de aguas residuales para biorremediación</li> <li>Reducción de emisiones en un 30%</li> </ul> |
| Dinamarca -<br>Kalundborg                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ejemplo clásico de SI desarrollada gradualmente. Lodos tratados para uso como fertilizantes, vapor residual para otros procesos. Intercambios de agua y energía. Ahorros de 4 millones de m<sup>3</sup> de agua</li> </ul>  |
| Suecia - Landskrona<br>industrial symbiosis<br>programme                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Más de 20 industrias participantes. Por ejemplo: residuos de vidrio para la producción de fibra de vidrio.</li> </ul>                                                                                                       |

De acuerdo con análisis bibliométricos, entre los países con mayor producción de investigación sobre el tema se encuentran China, Italia, Reino Unido, Países Bajos, Estados Unidos, Suecia y Brasil. En Latinoamérica aún se evidencia un subdesarrollo del tema, especialmente en Colombia, que a pesar de ser reconocido como el primer país latinoamericano en tener una política en economía circular, aún tiene retos persistentes como la resistencia cultural, limitada capacitación y sensibilización interna, gobernanza fragmentada, accesibilidad a datos, políticas no resilientes, la falta de apoyo económico de los sectores privado y público, y poca difusión y conocimiento sobre el concepto (Lebron, 2025; Rodriguez-Sanchez et al., 2024; van Hoof & Saer, 2022). Retos que se traducen en oportunidades tanto para la industria como para la academia y el gobierno.

## Referencias

- Lebron, R. (2025). Creating a just circular transition: Perspectives and contributions from Colombian circular case studies. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, 497. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145125>
- Márquez, A. J. C., Cano, N. S. de S. L., Rutkowski, E. W., Simões, A. F., & Smyth, B. (2025). How to promote circular economy in the global South: The circular technical network framework and the case of Colombia. *Resources, Conservation and Recycling*, 222, 108469. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2025.108469>
- Munonye, W. C., Ajonye, G. O., & Akinloye, O. A. (2025). Industrial symbiosis in circular economies through policy and practice for waste to resource innovation. *Discover Sustainability*, 6(1), 1371. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-02127-3>
- Rodriguez-Sanchez, P., Gonzalez-Cuenca, D., & Carrillo, L. F. L. (2024). An approach to the development of collaborative environmental networks in Colombia. *DIRECCION Y ORGANIZACION*, 84, 20–31. <https://doi.org/10.37610/84.679>
- van Hoof, B., & Saer, A. (2022). Public Policy for Circular Economy: The Case of the National Strategy of Circular Economy in Colombia (pp. 169–186). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-94293-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-94293-9_9)



## Valorización de Neumático Fuera de Uso en un reactor de gasificación de lecho fluidizado

**Franco Nardi<sup>a</sup>, Liza Dosso<sup>b</sup>, Mariana Busto<sup>c</sup>, Juan Manual Badano<sup>d</sup>**

<sup>a</sup> *fnardi@fiq.unl.edu.ar, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (CONICET-UNL), Santa Fe, Argentina*

<sup>b</sup> *ldosso@fiq.unl.edu.ar, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (CONICET-UNL), Santa Fe, Argentina*

<sup>c</sup> *mbusto@fiq.unl.edu.ar, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (CONICET-UNL), Santa Fe, Argentina*

<sup>d</sup> *jbadano@fiq.unl.edu.ar, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (CONICET-UNL), Santa Fe, Argentina*

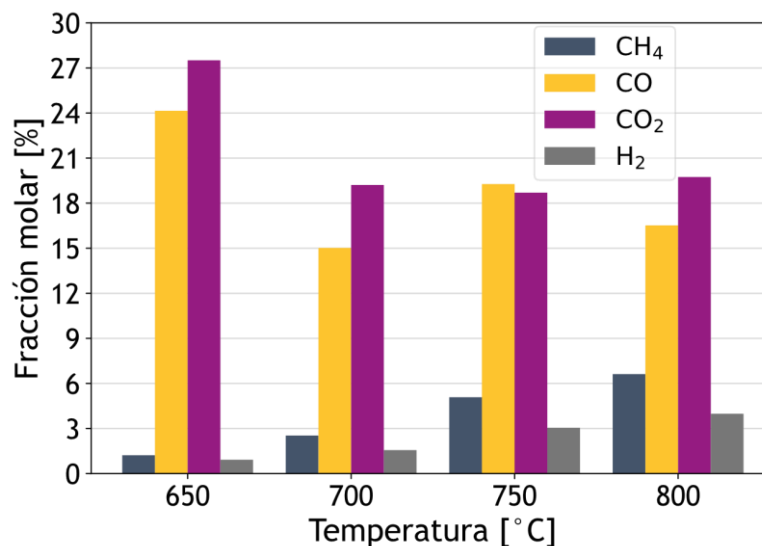
**Palabras clave:** Waste-to-Energy, NFU, negro de humo, gasificador

### Resumen

El bajo costo de producción y sus características físicas y químicas han vuelto a los plásticos un componente fundamental del estilo de vida moderno. La producción mundial de plásticos se estima en unas 400 millones de toneladas anuales, de las cuales unas 14 millones terminan en ecosistemas acuáticos. La baja biodegradabilidad de este tipo de materiales ha transformado a su consumo en una problemática ambiental crítica (UNEP, 2024). En particular, los neumáticos fuera de uso (NFU) enfrentan dificultades para ser reciclados y su valorización se ha abordado principalmente mediante la fabricación de productos de caucho o asfaltos modificados. En ese contexto, la gasificación emerge como un proceso termoquímico mediante el cual pueden valorizarse polímeros orgánicos sintéticos y/o naturales, cuyo producto principal es un gas de bajo poder calorífico. Dicho gas (syngas) puede ser utilizado con fines energéticos o como materia prima para la síntesis química (Busto *et al.*, 2025). En particular, la gasificación de NFU se presenta como un proceso con potencialidad para la recuperación de negro de humo, aunque los resultados alcanzados hasta el momento no hay sido satisfactorios (Xiao *et al.*, 2008).

En INCAPE, se dispone de un nuevo Sistema de Gasificación (SG) versátil a escala semi-piloto cuyo reactor es de lecho fluidizado. El SG permite la alimentación de polímeros naturales, sintéticos o mezclas de ellos a una tasa de entre 0,5 y 2 Kg/h, opera en forma isotérmica o autotérmica, y soporta el uso de materiales de lecho inertes o catalíticos. Allí, se realizaron experiencias de gasificación no catalítica con NFU como alimentación, arena como material de lecho y aire como agente gasificante. La relación de equivalencia y el caudal de NFU se mantuvieron constantes en 0.3 y 0.84 Kg/h, respectivamente, mientras que la temperatura se fue modificando entre experiencias. La Figura 1 resume la composición del gas de síntesis obtenida por GC-TCD como resultado de cada experiencia. El poder calorífico medio del gas obtenido fue de 4.3 KJ/L, mientras que la generación de alquitranes promedio fue de 90 g/m<sup>3</sup>. En lo que respecta a la eficiencia del proceso, la eficiencia de gas frío (CGE) y la eficiencia de conversión de carbono (CCE) fueron de 36,8% y 73,6%, respectivamente. Cabe resaltar que los datos aquí expuestos son similares a los obtenidos en experiencias similares de gasificación no catalítica de aserrín de pino en lechos fluidizados (García *et al.*, 2023).





**Figura 1.** Composición del gas de síntesis obtenido en las experiencias de gasificación no catalítica de NFU.

Por último, en la Tabla 1 se presentan los análisis próximos del NFU utilizado para los ensayos y del material carbonoso retenido en el ciclón del SG, aguas abajo del reactor. Se observa que en el ciclón se concentran las fracciones de carbono fijo y cenizas del NFU. En particular, el 76,6% del carbono fijo presente en el NFU alimentado fue retenido en el ciclón con un 65,8% de selectividad.

**Tabla 1.** Análisis próximos realizados al NFU y al material retenido en el ciclón luego de experiencias de gasificación. Porcentajes en base málica.

| Componente      | NFU   | Material del ciclón |
|-----------------|-------|---------------------|
| Humedad         | 0,8%  | 1,7%                |
| Materia volátil | 62,0% | 6,2%                |
| Cenizas         | 5,4%  | 26,3%               |
| Carbono fijo    | 31,8% | 65,8%               |

Los resultados expuestos muestran que la gasificación se presenta como un proceso con potencial para la valorización de NFU, tanto para la producción de energía como para la recuperación de negro de humo.

## Referencias

- Busto, M., Nardi, F., Dosso, L., Badano, J.M., Tarifa, E., Vera, C.R. (2025). *Processes*, 13(3), 647. <https://doi.org/10.3390/pr13030647>
- Garcia, L., Cordoba, M., Dosso, L., Nardi, F., Vera, C., Quiroga, M., Busto, M., Badano, J. (2023). *ChemPlusChem*, 88(12), e202300376. <https://doi.org/10.1002/cplu.202300376>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2024). *Global Waste Management Outlook 2024: Beyond an age of waste – Turning rubbish into a resource*. Nairobi. Recuperado de: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44939>
- Xiao, G., Ni, M.J., Chi, Y., Cen, K.F. (2008). *Energy Conversion and Management*, 49, 2078-2082. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.02.016>



# Obtención de ácido fórmico mediante la oxidación catalítica de furfural sobre $\text{Al}_2\text{O}_3$ promovida con Sn

Sandra Z Romero<sup>a</sup>, Cristina Megías-Sayago<sup>b</sup>, Svetlana Ivanova<sup>b</sup>, Pablo J Luggren<sup>a</sup>, Verónica K. Díez<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Grupo de Investigación en Ciencia e Ingeniería Catalíticas (GICIC), INCAPE (CONICET-UNL). Predio CONICET, Colectora RN N°168 Km 0, Santa Fe, Argentina, 3000.

<sup>b</sup> Departamento de Química Inorgánica y Centro de Investigaciones Científicas Isla de la Cartuja, Centro Mixto CSIC-Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 41092.

Email: verodiez@fiq.unl.edu.ar

**Palabras clave:** Oxidación, Furfural, Ácido fórmico, Ácido succínico.

## Resumen

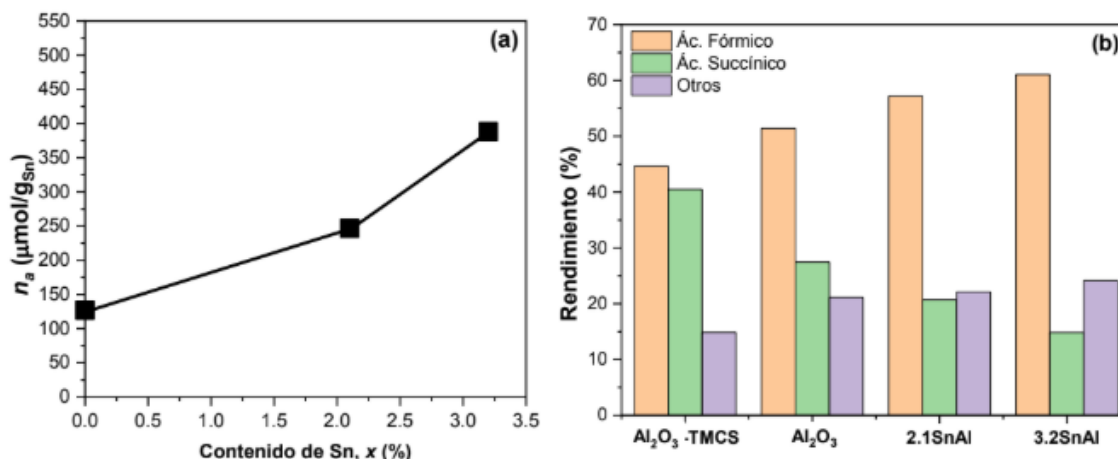
La biomasa lignocelulósica constituye una materia prima abundante y renovable para la industria química sostenible. Una molécula plataforma relevante derivada de esta fuente es el furfural, el cual se considera clave para la obtención de ácido fórmico (AF) y ácido succínico (AS). El AF se utiliza como portador de hidrógeno líquido, ya que permite su almacenamiento y transporte de manera segura y eficiente, liberando luego  $\text{H}_2$  mediante deshidrogenación catalítica (Achour et al. 2023). El AS se emplea como intermediario en las industrias del plástico, farmacéutica y cosmética (Palai et al., 2022). Este trabajo investiga la oxidación catalítica de furfural sobre alúmina, empleando como oxidante el  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Se propone como hipótesis que la modificación de la resistencia al agua y de la acidez superficial de la alúmina permitirá direccionar la oxidación de furfural hacia AF o AS, con especial énfasis en maximizar la obtención de AF. Considerando que la producción de furfural a partir de biomasa ocurre en medio acuoso, se plantea emplear alúmina funcionalizada con trimetilclorosilano (TMCS), con el objetivo de aumentar la resistencia de su superficie al agua (Romero et al., 2025). Además, se promovió la alúmina con Sn mediante impregnación a humedad incipiente para modificar sus propiedades ácidas. Estos catalizadores se denotaron  $x\text{SnAl}$ , donde  $x$  es el contenido de Sn (2.1 y 3.2% en peso, determinado por ICP). Los catalizadores se caracterizaron para determinar sus propiedades fisicoquímicas, texturales y estructurales. Los sólidos  $x\text{SnAl}$  exhiben áreas superficiales BET de aproximadamente  $200 \text{ m}^2/\text{g}$  y solo presentan la fase cristalina  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , determinada por XRD, lo que sugiere una alta dispersión del Sn. Además, la adición Sn a la  $\text{Al}_2\text{O}_3$  incrementa el contenido de sitios ácidos de Lewis, determinados por TPD de  $\text{NH}_3$  (Romero et al., 2025), desde  $127 \mu\text{mol/g}$  en la alúmina hasta  $388 \mu\text{mol/g}$  sobre  $3.2\text{SnAl}$  (Figura 1(a)). Por otro lado, la funcionalización de la alúmina con TMCS, no mostró cambios significativos en las propiedades texturales y estructurales. El análisis por FTIR confirmó la interacción del TMCS con los grupos  $\text{OH}^-$  del soporte, identificándose una banda a  $1150 \text{ cm}^{-1}$ . La resistencia al agua de la  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TMCS}$ , se evaluó determinando el ángulo de contacto  $\theta$  (a mayor valor de  $\theta$ , menor es la interacción del sólido con el agua). La funcionalización con TMCS produce un aumento de tres veces del valor de  $\theta$ , de  $6.6^\circ$  para  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $20.5^\circ$  para  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TMCS}$  (Romero et al., 2025).

La evaluación catalítica se realizó en un reactor discontinuo de vidrio Syrris Orbit 6 a 323 K, con 1 mmol de furfural, 0.05 g de catalizador y 5 mL de  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 15% durante 6 h. Los resultados muestran que las condiciones empleadas permiten alcanzar la conversión total de furfural. En la Figura 1(b), se observa que sobre alúmina se obtienen rendimientos significativos hacia los productos de interés, de 51.4 % para AF y de 27.5 % para AS. Mientras que  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TMCS}$  promueve un incremento en la formación de AS, alcanzando un rendimiento del 40.5%. Este comportamiento se atribuye a la disminución de grupos hidroxilos superficiales, lo que favorece la adsorción y activación del furfural sobre sitios ácidos Lewis, promoviendo la ruta tipo Baeyer-Villiger hacia ácido succínico. Esta ruta implica el ataque nucleofílico del  $\text{H}_2\text{O}_2$  al grupo





carbonilo, generando un intermediario que evoluciona hacia AS (Palai et al., 2022). Si bien la suma de los rendimientos a AF y AS obtenida sobre  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -TMCS resulta similar, variando entre 79 y 85 %, en este trabajo se busca favorecer la formación de ácido fórmico. En este sentido, se decidió continuar investigando la  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sin funcionalizar y modificar su acidez mediante la incorporación de Sn como promotor. El objetivo fue favorecer las etapas iniciales de oxidación del furfural que conducen a la formación de AF.



**Figura 1.** Propiedades ácidas de los catalizadores (a); Rendimientos a AF, AS y otros (ácido maléico y 2(5H)-furanona), obtenidos durante la oxidación catalítica de furfural sobre  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -TMCS y catalizadores  $x\text{SnAl}$ . [1 mmol de furfural, 0.05 g de catalizador, 5 mL de  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 15%, conversión total de furfural, 323 K, tiempo final: 6 h. Rendimientos obtenidos en base libre de  $\text{CO}_2$ ]

En la Figura 1(b), se observa que la adición de Sn a la  $\text{Al}_2\text{O}_3$  favorece la formación de AF, alcanzando un rendimiento final de 61 % sobre el catalizador 3.2SnAl, mientras que, el rendimiento de AS es de 14.8 %. Este comportamiento podría asociarse al aumento de sitios ácidos Lewis, los cuales favorecerían procesos de autocatálisis del AF formado (Palai et al., 2022), que actuaría también como catalizador líquido. Los resultados catalíticos son prometedores y muestran que es posible direccionar la oxidación de furfural hacia ácido fórmico, sobre  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y catalizadores  $x\text{SnAl}$ , o hacia ácido succínico, sobre  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -TMCS. En futuros estudios, se continuará evaluando el efecto de promoción de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  con Sn y otras variables experimentales, con el fin de favorecer la oxidación catalítica de furfural.

## Referencias

- Achour, M; Álvarez-Hernández, D; Ruiz-López, E; Megías-Sayago, C; Ammari, F; Ivanova, S; Centeno, MÁ. (2023). *Tetrahedron Green Chem*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.tgchem.2023.100020>
- Palai, Y. N., Shrotri, A., & Fukuoka, A. (2022). *ACS Catalysis*, 12(6), 3534–3542. <https://doi.org/10.1021/acscatal.1c05348>
- Romero, S. Z., Luggren, P. J., & Díez, V. K. (2025). *Surfaces and Interfaces*, 72. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2025.107140>



## Catalizadores basados en biocarbones para procesos de esterificación: efecto del origen de la biomasa

Camila M. Loffredo<sup>a\*</sup>, Mariana Alvarez<sup>b</sup>

<sup>a\*</sup> *camila.loffredo@uns.edu.ar, INQUISUR (CONICET-UNS), Bahía Blanca*

<sup>b</sup> *alvarezm@criba.edu.ar, INQUISUR (CONICET-UNS), Bahía Blanca*

**Palabras clave:** Biocarbones, catalizadores ácidos, esterificación

### Resumen

La producción de biodiesel mediante catálisis heterogénea ácida representa una alternativa a los procesos homogéneos tradicionales, permitiendo el uso de materias primas con alto contenido de ácidos grasos libres. En este contexto, los biocarbones sulfonados obtenidos a partir de biomasa (BM) residual destacan por su bajo costo y carácter renovable (Yusuf et al., 2024). El presente trabajo compara el desempeño catalítico de dos materiales sintetizados a partir de residuos agroindustriales locales: poda (BCp-S) y cáscara de girasol (BCg-S), evaluando la influencia de la fuente de BM en su capacidad de esterificación de ácidos grasos.

Los biocarbones se obtuvieron por pirólisis de la BM a 450 °C bajo atmósfera inerte de N<sub>2</sub>. La funcionalización se realizó por tratamiento con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado (90 °C, 2 h). Los materiales resultantes, BCp-S y BCg-S, se caracterizaron por análisis elemental, titulación ácido-base y ATR-FTIR. La actividad catalítica se evaluó en la esterificación de ácido mirístico (AM) a 60 °C y, adicionalmente, en una mezcla compleja de ácidos grasos (mirístico C<sub>14</sub>, láurico C<sub>12</sub> y cáprico C<sub>10</sub>), monitoreando la conversión a éster por cromatografía gaseosa.

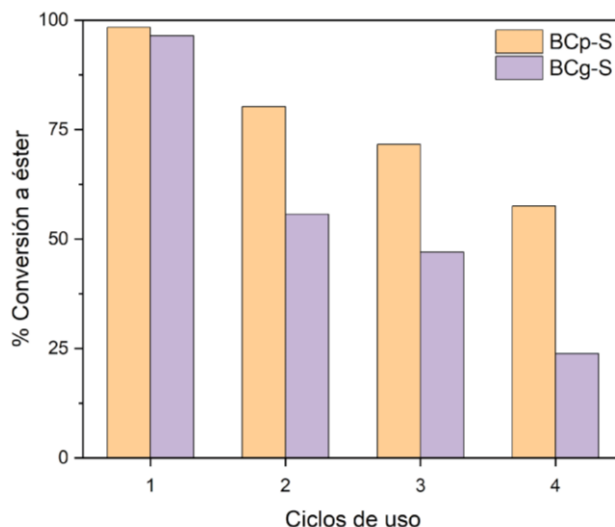
La caracterización evidenció contrastes significativos entre ambos materiales. Tanto la acidez total como el contenido de S es mayor para BCp-S respecto de BCg-S, lo que sugiere una incorporación más efectiva de los grupos sulfonados en la matriz carbonosa proveniente de la poda (Tabla 1). Por otro lado, la deconvolución de bandas ATR-FTIR características de la BM reveló un mayor contenido relativo de lignina en BCp-S respecto a BCg-S (Bhagia et al., 2022).

En cuanto a la evaluación catalítica en la esterificación de AM, BCp-S logró una conversión del 98,4 % tras 6 horas de reacción, mientras que el BCg-S alcanzó valores de conversión del 96,5 % en condiciones similares. En la esterificación de AM, BCp-S es estable en hasta 4 ciclos de reacción con conversiones alrededor del 60 %, en comparación con BCg-S (menos del 50 % en el tercer ciclo). Por otro lado, en los ensayos realizados con una mezcla equimolar de ácidos grasos, BCp-S mantuvo una actividad aceptable durante ciclos sucesivos, conservando conversiones globales superiores al 50 %. Por el contrario, el BCg-S presentó un menor desempeño catalítico en estas condiciones, registrando conversiones inferiores al 40 % para los tres ácidos grasos desde su primer uso (Figura 1).

La diferencia en la estabilidad de ambos catalizadores podría surgir de la composición de cada BM. Materiales con una mayor relación relativa de lignina presentan un mayor potencial para generar grupos ácidos estables, dado que estas estructuras favorecen una mayor aromatización y exposición de sitios activos durante la pirólisis (Zhang et al., 2023). De este modo, la matriz del BCp-S proporcionaría un anclaje más robusto para los grupos -SO<sub>3</sub>H, otorgándole una resistencia superior a la desactivación y una mayor eficacia en el procesamiento de mezclas complejas en comparación con el soporte derivado de la cáscara



de girasol. En conclusión, el residuo de poda podría consolidarse como un precursor biomásico más eficiente para la obtención de catalizadores sólidos destinados a la valorización de aceites residuales.



**Figura 1.** Esterificación de ácido mirístico en sucesivos ciclos, utilizando biocarbones como catalizadores.

**Tabla 1.** Resultados del análisis textural de los catalizadores.

| Catalizador | %S   | Acidez ( $\text{mmol H}^+ \text{g}^{-1}$ ) | Área señal lignina (ATR-FTIR, $875 \text{ cm}^{-1}$ , u. a.) |
|-------------|------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| BCp-S       | 2,77 | 0,66                                       | 0,48                                                         |
| BCg-S       | 1,87 | 0,37                                       | 0,24                                                         |

## Referencias:

Bhagia, S., Đurković, J., Lagaña, R., Kardošová, M., Kačík, F., Cernescu, A., Schäfer, P., Yoo, C. G., & Ragauskas, A. J. (2022). Nanoscale FTIR and Mechanical Mapping of Plant Cell Walls for Understanding Biomass Deconstruction. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 10(9), 3016–3026. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c08163>

Yusuf, B. O., Oladepo, S. A., & Ganiyu, S. A. (2024). Efficient and Sustainable Biodiesel Production via Transesterification: Catalysts and Operating Conditions. *Catalysts*, 14(9), 581. <https://doi.org/10.3390/catal14090581>

Zhang, B., Gao, M., Tang, W., Wang, X., Wu, C., Wang, Q., Cheung, S. M., & Chen, X. (2023). Esterification efficiency improvement of carbon-based solid acid catalysts induced by biomass pretreatments: Intrinsic mechanism. *Energy*, 263(PB), 125606. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125606>



## Neutralización y cristalización por solventes como estrategia para la purificación del glicerol crudo

Buono, Camila M.<sup>a,b</sup>; Pompeo Francisco<sup>a,b</sup>; Santori Gerardo<sup>a,b</sup>; Gatti Martín N.<sup>a,b\*</sup>

<sup>a</sup> Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas (CINDECA), Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata (UNLP)—CONICET, Calle 47, 257, CP 1900, La Plata, Argentina

<sup>b</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Calle 1 esq. 47, CP 1900, La Plata, Argentina \* martin.gatti@ing.unlp.edu.ar

**Palabras clave:** glicerol –neutralización – cristalización – solventes – biodiesel

### Resumen

La industria del biodiesel ha experimentado un crecimiento sostenido a nivel mundial, lo que ha incrementado la oferta de glicerol crudo. En Argentina, el biodiesel se produce exclusivamente a partir de aceite de soja mediante un proceso de con alcoholes de bajo peso molecular, como el metanol. Se estima que en el proceso se obtiene 1 kg de glicerol crudo por cada 10 kg de biodiesel, esto es aproximadamente un 10 % en peso.

El glicerol es un polialcohol con tres grupos hidroxilo, que presenta propiedades fisicoquímicas útiles en diferentes industrias (Anitha et al., 2016). Su estructura química lo convierte en una molécula plataforma para la obtención de diversos productos químicos a través de diferentes reacciones como reformado, esterificación e hidrogenólisis, entre otras (Gatti et al., 2022).

No obstante, el principal obstáculo para el aprovechamiento directo del glicerol crudo tal como se obtiene del proceso productivo del biodiesel radica en las impurezas que contiene.

Entre estas se destacan el metanol, el hidróxido de sodio y la materia orgánica no glicerina (MONG), que comprende jabones, triglicéridos, fosfolípidos y ésteres metílicos (Hájek & Skopal, 2010). Su baja pureza, lo convierte en una materia prima inadecuada para aplicaciones farmacéuticas, cosméticas y alimenticias, lo que devalúa su valor comercial e impulsa el desarrollo de esquemas de purificación.

Estos procesos incluyen operaciones fisicoquímicas secuenciales como neutralización, separación de fases, cristalización, filtración, adsorción y tratamientos con solventes (Manosak et al., 2011). También es posible aplicar operaciones más sofisticadas como la destilación al vacío, el intercambio iónico, y la separación por membranas (Attarbach et al., 2023). Dependiendo de la escala de producción y la composición del glicerol, se aplica una combinación diferente de operaciones.

En este trabajo se estudiaron las operaciones de neutralización y cristalización por solventes de muestras de glicerol crudo con el objetivo de eliminar los jabones y la base presentes en ellas. Los resultados determinaron que, dependiendo de la naturaleza del ácido, la neutralización completa se alcanza a distintos valores de pH, siguiendo el orden: 7.74 ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), 7.27 ( $\text{HCOOH}$ ), 5.71 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) y 3.91 ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ).

En esas condiciones el consumo total de ácido sigue la tendencia:  $\text{CH}_3\text{COOH} > \text{H}_3\text{PO}_4 > \text{HCOOH} > \text{H}_2\text{SO}_4$ , siendo el consumo de ácido sulfúrico el menor para neutralizar el glicerol crudo alcalino. Las sales formadas consisten en  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ,  $\text{HCOONa}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y  $\text{Na}(\text{H}_2\text{PO}_4)$  derivadas de los ácidos correspondientes.





Las muestras neutralizadas con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  se sometieron a tratamientos con diferentes solventes polares (metanol, etanol absoluto, etanol 96 % y 1-propanol) para evaluar el efecto sobre la precipitación de las sales.

Se observó que el incremento en la cantidad de solvente mejora el grado de remoción de las sales, mientras que el efecto de la temperatura no permitió establecer una tendencia general, aunque en la mayoría de los casos su aumento favoreció dicha remoción. Finalmente, las mezclas glicerol/solvente fueron caracterizadas mediante TGA/DTA determinándose que la intensidad de interacción entre glicerol y solvente sigue el orden: Propanol > Etanol 96% > Etanol absoluto > Metanol.

## Referencias

- Anitha, M., Kamarudin, S. K., & Kofli, N. T. (2016). The potential of glycerol as a value-added commodity. In *Chemical Engineering Journal* (Vol. 295, pp. 119–130). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.03.012>
- Attarbach, T., Kingsley, M. D., & Spallina, V. (2023). New trends on crude glycerol purification: A review. *Fuel*, 340. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.127485>
- Gatti, M. N., Nichio, N. N., & Pompeo, F. (2022). Advances for Biorefineries: Glycerol Hydrogenolysis to 1,3-Propylene Glycol. *Reactions* 2022, Vol. 3, Pages 451–498, 3(3), 451–498. <https://doi.org/10.3390/REACTIONS3030032>
- Hájek, M., & Skopal, F. (2010). Treatment of glycerol phase formed by biodiesel production. *Bioresource Technology*, 101(9), 3242–3245. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.094>
- Manosak, R., Limpattayanate, S., & Hunsom, M. (2011). Sequential-refining of crude glycerol derived from waste used-oil methyl ester plant via a combined process of chemical and adsorption. *Fuel Processing Technology*, 92(1), 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.09.002>

L I.....



## Esterificación de glicerol crudo con ácido acético empleando la resina comercial CT-275

Inglieri Lucas<sup>b</sup>; Perez Federico M.<sup>a,b</sup>; Pompeo Francisco<sup>a,b</sup>; Santori Gerardo<sup>a,b</sup>; Gatti Martín N. <sup>a,b\*</sup>

<sup>a</sup> Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas (CINDECA), Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata (UNLP)—CONICET, Calle 47, 257, CP 1900, La Plata, Argentina

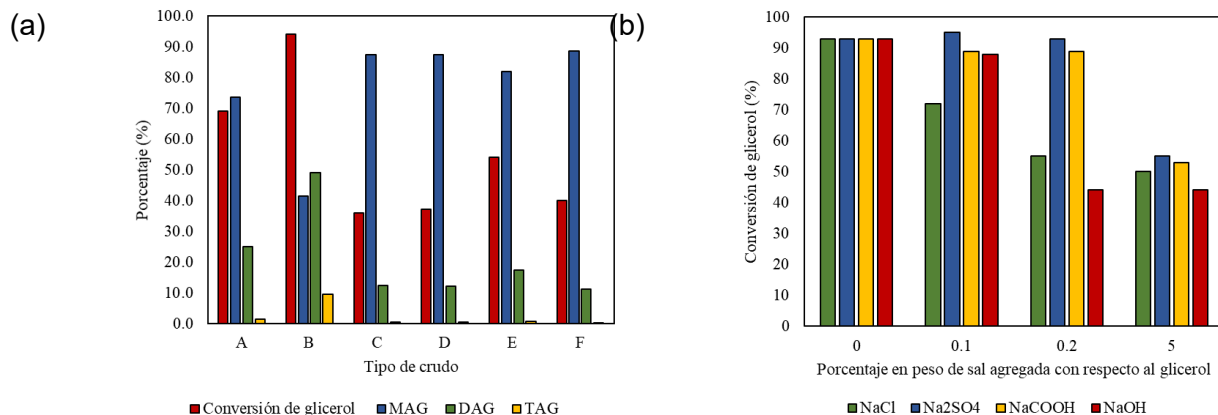
<sup>b</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Calle 1 esq. 47, CP 1900, La Plata, Argentina \* martin.gatti@ing.unlp.edu.ar

**Palabras clave:** esterificación - glicerol crudo - biodiesel - catalizadores ácidos - resina

### Resumen

El crecimiento sostenido de la industria del biodiesel ha incrementado significativamente la producción de glicerol crudo. Su amplia disponibilidad y bajo costo han consolidado al glicerol como una materia prima asequible para la producción de distintos compuestos químicos, entre ellos los acetilglicerol, obtenidos por esterificación del glicerol (G) con ácido acético (AA): monoacetilglicerol (MAG), diacetilglicerol (DAG) y triacetilglicerol (TAG). El glicerol crudo contiene impurezas de variada naturaleza, entre las que se incluyen bases inorgánicas, sales de sodio o potasio, trazas de metanol (MeOH) y materia orgánica no glicerina (MONG), como ácidos grasos libres, residuos de aceites y grasas sin transesterificar (Rajkhowa, 2017). La presencia y concentración de estas impurezas pueden influir en la actividad del catalizador y, en consecuencia, en el rendimiento y la eficiencia del proceso de producción de acetilglicerol. Las resinas de intercambio han sido uno de los catalizadores más empleados en la reacción de esterificación de glicerol con ácido acético, debido a su alta densidad de sitios ácidos y su gran diámetro de poro. Entre las resinas comerciales, las más utilizadas son las Amberlyst® tipo 15 (Zhou, 2013), 35 (Caballero, 2019) y 36 (Liao, 2009). En todos los casos, los autores han empleado glicerol grado analítico como reactivo, lo que incrementa los costos de la materia prima asociados al proceso de refinación. En este trabajo se empleó la resina comercial CT-275 como catalizador en la reacción de esterificación de glicerol crudo con ácido acético, con el objetivo de estudiar el efecto de las impurezas presentes en el glicerol sobre la actividad catalítica. Los resultados de caracterización mostraron que la resina CT-275 es principalmente macroporosa con una superficie específica de 20-40 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> y presenta sitios ácidos muy fuertes con una densidad aproximada de 0.01-0.02 mmoles m<sup>-2</sup>. Los ensayos catalíticos se llevaron a cabo en un reactor batch a 120 °C, empleando una relación molar ácido acético/glicerol (AA/G) = 6 y un 0,25 %p/p de catalizador (mc). Para los ensayos se utilizaron seis muestras de glicerol crudo (A-F) de distintas calidades, conteniendo: glicerol (52,6-80,5 %p/p), agua (0,2-19,3 %p/p), cenizas (0,7-6 %p/p), metanol (0,2-10,4 %p/p) y MONG (exceptuando metanol) (2,3-16,6 %p/p). Los resultados, presentados en la Figura 1 (a), mostraron diferencias en los valores de conversión y selectividad MAG, DAG y TAG, dependiendo del tipo de muestra utilizada.





**Figura 1.** (a) Actividad de la resina CT-275 en la esterificación de glicerol con ácido acético, empleando muestras de glicerol crudo (A-F), mc: 75 mg. (b) Efecto del agregado de sales de sodio sobre la actividad de la resina CT-275, mc: 10 mg. Condiciones de reacción: T=120°C, P=2 bar, AA/G=6, t=30 min.

Estas variaciones entre las distintas muestras de glicerol crudo se deben, esencialmente, a la diferencia en la composición de cada una de ellas. Para dilucidar el efecto de cada una de las impurezas sobre la actividad catalítica, se llevaron a cabo ensayos empleando glicerol analítico y adicionando de manera individual cada impureza dentro del rango de composición determinado. Los resultados mostraron que el agregado de metanol hasta un 40% y de ácido oleico (MONG) hasta un 20% no afecta la conversión de glicerol ni la selectividad a acetilgliceroles, mientras que la adición de agua hasta un 40% disminuye la conversión de glicerol en un 10% con un aumento en la selectividad a MAG, y una disminución en la selectividad a DAG y TAG. En cuanto al agregado de compuestos que contienen sodio (NaCl, NaOH, NaCOOH, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), en la Figura 1 (b) se observa que su presencia genera una disminución de la conversión. Este comportamiento estaría asociado a que la resina intercambia sus protones, que son los sitios activos de la esterificación, por iones Na<sup>+</sup> presentes en las impurezas. En el caso del NaOH, se produce un efecto negativo adicional, ya que su presencia genera la neutralización parcial del ácido acético, uno de los reactivos en la esterificación de glicerol. Estos resultados indican que la presencia de especies sodio tiene el mayor efecto desactivante sobre la actividad catalítica de la resina.

## Referencias

- Caballero, K.V., Guerrero-Amaya, H., Baldovino-Medrano, V.G. (2019). Revisiting Glycerol Esterification with Acetic Acid over Amberlyst-35 via Statistically Designed Experiments: Overcoming Transport Limitations. *Chem. Eng. Sci.* 207, 91-104.
- Liao, X.; Zhu, Y.; Wang, S.G.; Li, Y. (2009). Producing Triacetylgllycerol with Glycerol by Two Steps: Esterification and Acetylation. *Fuel Process. Technol.* 90, 988-993.
- Rajkhowa, T., Marin, G.B., Thybaut, J.W. (2017). Quantifying the dominant factors in Cu catalyst deactivation during glycerol hydrogenolysis. *J. Ind. Eng. Chem.* 54, 270-277.
- Zhou, L., Al-Zaini, E., Adesina, A.A. (2013). Catalytic Characteristics and Parameters Optimization of the Glycerol Acetylation over Solid Acid Catalysts. *Fuel* 103, 617-625.



# Síntesis y caracterización de arcillas pilareadas para valorización de biomasa

**Belén M. Viola<sup>a,b,\*</sup>, Ema V. Sabre<sup>a,b</sup>, Sandra G. Casuscelli<sup>a,b</sup>, Analía L. Cánepa<sup>a,b</sup>**

<sup>a</sup>Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Córdoba, Argentina.

<sup>b</sup>Centro de Investigación y Tecnología Química, Universidad Tecnológica Nacional, CONICET, FRC, Córdoba, Argentina

[bviola@frc.utn.edu.ar](mailto:bviola@frc.utn.edu.ar)

**Palabras clave:** Ti-PILC, oxidación, trans-2-hexen-1-ol, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

## Resumen

La creciente preocupación por el agotamiento de los recursos fósiles y el impacto ambiental asociado a su explotación ha impulsado la búsqueda de materias primas renovables y procesos químicos más sostenibles. En este contexto, la biomasa emerge como una alternativa para la obtención de productos químicos de alto valor agregado, permitiendo valorizar compuestos naturales, como el trans-2-hexen-1-ol (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O), mediante procesos catalíticos acordes con los principios de la química verde. La catálisis heterogénea ha demostrado ser una estrategia eficiente ya que promueve transformaciones selectivas gracias a la generación de sitios activos altamente dispersos en matrices porosas. En este marco, se emplearon arcillas naturales modificadas con titanio para la valorización del C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O a través de procesos catalíticos amigables con el medioambiente.

Los materiales pilareados se obtuvieron a partir de una arcilla montmorillonita natural proveniente de San Juan, Argentina. Se inició con el intercambio iónico de los cationes de compensación por Na<sup>+</sup>, para obtener la arcilla Na-mont. Luego, se preparó una suspensión de Na-mont (8 g/L) a la que se añadió por goteo una solución pilareante formada por Ti(OC<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>4</sub> y HCl 1 M. La concentración de Ti fue la necesaria para obtener una carga de 10 mmol de Ti/g de arcilla, mientras que la relación molar H<sup>+</sup>/Ti se varió en: 0,5, 1 y 2. Luego de 8 h de agitación y 12 h de envejecimiento, la fracción sólida se centrifugó, lavó y calcinó a 450 °C durante 3 h, obteniéndose la (x)Ti-PILC, siendo “x” la relación molar H<sup>+</sup>/Ti empleada.

Los sólidos obtenidos fueron caracterizados mediante DRX. La Na-mont presentó una señal en 2θ=7,2° asociada a un espaciado interlamilar (d<sub>001</sub>) de 1,23 nm. Todas las arcillas (x)Ti-PILC no presentaron señales a bajo ángulo lo que sugiere la delaminación de la estructura durante el proceso de pilareado (Chmielarz et al., 2011). A alto ángulo, las (x)Ti-PILC mostraron las señales típicas de la Na-mont, lo que indica que la estructura cristalina de las láminas se mantuvo luego de la incorporación de Ti (Zhu et al., 2022). Además, se observó una señal a 2θ ≈ 25,2° que se atribuyó al TiO<sub>2</sub> (anatasa), confirmando la incorporación del metal en el material (Chen et al., 2011).

Las isothermas de adsorción-desorción de N<sub>2</sub> obtenidas fueron del tipo II según la clasificación de la IUPAC, con loop de histéresis H4, característico de mesoporos en forma de hendidura. Como se observa en la Tabla 1, los materiales pilareados presentaron mayor área específica (S<sub>BET</sub>), volumen de microporo (V<sub>μp</sub>) y volumen total de poro (V<sub>tp</sub>) respecto de la Na-mont, lo que podría atribuirse a la formación de pilares de Ti y a la delaminación de las capas. Asimismo, se observó una tendencia clara al variar la relación molar H<sup>+</sup>/Ti. A medida que esta aumenta, se obtienen materiales con mayor área específica y volumen total de poros. En conclusión, si bien los materiales obtenidos carecen de una estructura laminar de largo alcance, el notable incremento en su área específica respecto del material de partida sugiere la coexistencia de una estructura pilareada junto con procesos de delaminación.





**Tabla 1.** Propiedades texturales de la arcilla sódica y las (x)Ti-PILC.

| Catalizado<br>r | $d_{001}^a$ (nm) | $S_{BET}^b$ (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ) | $V_{tp}^c$ (cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> ) | $V_{\mu p}^d$ (cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Na-mont         | 1,23             | 31,00                                         | 0,06                                          | 0,004                                            |
| (0,50)Ti-PILC   | n/d              | 90,38                                         | 0,11                                          | 0,010                                            |
| (1)Ti-PILC      | n/d              | 97,36                                         | 0,13                                          | 0,010                                            |
| (2)Ti-PILC      | n/d              | 107,50                                        | 0,14                                          | 0,010                                            |

La actividad catalítica se evaluó para el material Na-mont y (2)Ti-PILC empleando H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (30 % p/p) como agente oxidante y acetonitrilo (AcN) como solvente. Los ensayos se llevaron a cabo en un reactor batch de vidrio provisto de un condensador de reflujo, a 70 °C y bajo agitación magnética vigorosa durante 5 h. Las concentraciones iniciales de AcN, C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fueron 17 M, 1,52 M y 1,52 M, respectivamente, empleando 9 g L<sup>-1</sup> de catalizador. El seguimiento de la reacción se realizó mediante cromatografía gaseosa y el consumo de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se determinó mediante titulación iodométrica.

La arcilla sódica presentó una conversión de C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O cercana al 5% molar, indicando la necesidad de incorporar especies activas en la estructura del material. En cambio, el material (2)Ti-PILC permitió alcanzar una conversión del 25,67% molar, evidenciando la actividad asociada al titanio. En cuanto a los productos de reacción, se identificaron el trans-2-hexenal (2HAL), 2,3-epoxihexanol (2,3EP) y ácido trans-2-hexenoico (HAC) con selectividades molares de 61,56%, 26,41% y 12,02%, respectivamente. Por su parte, la conversión de oxidante fue del 73,33% molar a las 5 h de reacción, con una eficiencia aproximada del 30% molar.

## Referencias

- Chen, J., Liu, X., Li, G., Nie, X., An, T., Zhang, S., & Zhao, H. (2011). *Catalysis Today*, 164(1), 364–369. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2010.11.014>
- Chmielarz, L., Piwowarska, Z., Kuśtrowski, P., Wegrzyn, A., Gil, B., Kowalczyk, A., Dudek, B., Dziembaj, R., & Michalik, M. (2011). *Applied Clay Science*, 53(2), 164–173. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2010.12.009>
- Zhu, Y., Kottarath, S., Iroh, J. O., & Vaia, R. A. (2022). *Energies*, 15(15). <https://doi.org/10.3390/en15155366>



# **Valorización del bagazo fibroso de *Canna edulis* mediante su transformación en un catalizador ácido heterogéneo para la hidrólisis de almidón de *Manihot esculenta*.**

**Michel Beltran Alferez<sup>a</sup> Dayana Dueñas Esquivel<sup>b</sup> Helena García-Rosero<sup>c</sup>.**

<sup>a</sup> mbeltran@unillanos.edu.co, Universidad de los Llanos, Villavicencio <sup>b</sup> yorley.duenas.esquivel@unillanos.edu.co, Universidad de los Llanos, Villavicencio <sup>c</sup> mhgarcia@unillanos.edu.co, Universidad de los Llanos, Villavicencio

**Palabras clave:** *Canna edulis*, bagazo fibroso, biocarbonizado, catalizador ácido heterogéneo.

## **Resumen**

Colombia es el principal productor de almidón de Achira a nivel mundial, siendo los Departamentos Cundinamarca y Huila, los mayores productores nacionales; el Departamento del Meta, también es un actor relevante en producción agrícola. En el municipio de El Calvario para el 2024 se produjeron alrededor de 477 ton de achira (Agronet 2024), de las cuales se estima que el 35% corresponde a bagazo fibroso (BF) resultante de la extracción de almidón contenido en el rizoma, este residuo lignocelulósico es actualmente dispuesto de manera inadecuada en suelos destinados a siembra de cultivos o en la cercanía de fuentes hídricas, generando problemáticas ambientales asociadas a la acumulación de materia orgánica idónea para la proliferación de microorganismos, ocasionando deterioro de la calidad del aire mediante emisiones de gases de efecto invernadero, procesos de eutrofización del agua, cuando hay quema de estos residuos acelera procesos de degradación y reducción de materia orgánica del suelo. En concordancia con los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) y la bioeconomía circular, surge la necesidad de desarrollar alternativas que permitan la valorización de este tipo de residuos agroindustriales, integrándose nuevamente en la cadena productiva. Por otra parte, los almidones ampliamente utilizados para obtención de azúcares reductores suelen depender de catalizadores homogéneos o enzimas, métodos que presentan limitaciones asociadas a su recuperación, reutilización, generación de residuos.

La problemática central es la falta de estrategias para la valorización del BF resultante del proceso productivo en la obtención de almidón de achira en El Calvario-Meta, así como la necesidad de desarrollar materiales catalíticos con el fin de mejorar procesos de hidrólisis de almidón, estudios previos, han demostrado que a partir de residuos se puede obtener materiales con características óptimas para el desarrollo de catalizadores heterogéneos mediante tratamientos térmicos. Se propone valorizar el BF mediante su transformación en un material carbonoso con propiedades catalíticas, aplicable en la hidrólisis de almidón de yuca (*Manihot esculenta*), proceso clave para la obtención de azúcares reductores en la agroindustria. El residuo fue sometido a pirólisis a 800 °C para obtener un biocarbonizado, el cual posteriormente fue tratado con ácido sulfúrico con el fin de incorporar grupos ácidos en su superficie. El desarrollo experimental se estructuró en tres etapas, (I) Caracterización del residuo, (II) síntesis y funcionalización del catalizador heterogéneo y (III) evaluación catalítica. La caracterización inicial del BF incluye análisis elemental, los cuales indicaron una composición de carbono (38,39%) hidrógeno (6,78%), nitrógeno (1,02%) y azufre (<0,10%), evidenciando su naturaleza lignocelulósica. La síntesis del biocarbonizado se llevó a cabo mediante pirólisis lenta a 800°C, con una rampa de calentamiento de 10 °C·min<sup>-1</sup> y un tiempo de residencia de 1 h en su máxima temperatura, bajo atmósfera inerte de nitrógeno (N<sub>2</sub>). El rendimiento del biocarbonizado obtenido fue de 22% en base seca. Posteriormente el material fue sulfonado mediante tratamiento con ácido sulfúrico concentrado (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), con el propósito de incorporar grupos azufrados en la superficie. La caracterización mediante espectroscopia FTIR se realizaron al BF, biocarbonizado y al biocatalizador, obsérvese en la Figura 1.



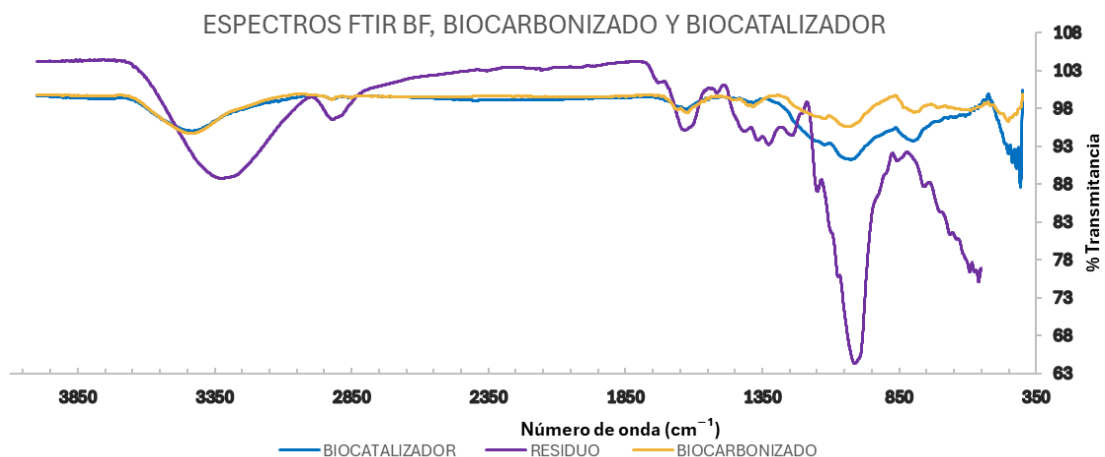


Figura 1. FTIR de BF, biocarbonizado (800 °C) y biocatalizador.

El espectro FTIR del bagazo fibroso de achira mostró las bandas características de una matriz lignocelulósica, incluyendo una señal ancha alrededor de 3200–3500 cm<sup>-1</sup> atribuida al estiramiento de grupos hidroxilo, bandas en 2920–2850 cm<sup>-1</sup> asociadas a enlaces C–H alifáticos y señales en la región 1000–1200 cm<sup>-1</sup> relacionadas con vibraciones C–O y C–O–C de polisacáridos. Tras la carbonización, se observó una disminución marcada de las señales asociadas a grupos oxigenados lábiles y contribuciones atribuibles a estructuras aromáticas condensadas, lo que es consistente con la formación de una matriz carbonosa.

Posteriormente, el material funcionalizado con azufre presentó modificaciones en la región 1000–1250 cm<sup>-1</sup>, compatibles con la incorporación de grupos sulfurados oxigenados, posiblemente de tipo sulfónico. Estos grupos ácidos superficiales podrían explicar la actividad relacionada con la hidrólisis del almidón de yuca, al actuar como sitios Brønsted capaces de promover la ruptura de enlaces glucosídicos por medio de la protonación. La evaluación catalítica se llevó a cabo mediante la hidrólisis de almidón en un reactor hidrotermal, operando a temperaturas de 150 °C y 200 °C con tiempos de residencia entre 6 y 26 horas. Se empleó la metodología del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) para cuantificar la concentración de azúcares reductores en el hidrolizado. Los resultados indicaron que, a una temperatura de 200 °C, los azúcares sufren una degradación térmica; por el contrario, a 150 °C la producción de azúcares aumenta de manera proporcional al tiempo de reacción. Se determinó que las condiciones óptimas de hidrólisis en el trabajo experimental definido son 150 °C durante 24 horas, alcanzando una concentración de 6,56 g/L de azúcares reductores y un rendimiento de conversión de 24%. Se requieren estudios adicionales que incluyan la evaluación de diferentes temperaturas, tiempos de reacción y condiciones de operación, con el fin de determinar parámetros óptimos y fortalecer el análisis del impacto del proceso en esquemas de valorización de residuos.

## Referencias

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (Agronet) (2024). Estadísticas agrícolas – consulta municipal. Recuperado de: [https://agronet.gov.co/estadisticas/agricola?producto\\_municipal=10010101#municipal](https://agronet.gov.co/estadisticas/agricola?producto_municipal=10010101#municipal)



# Glicólisis de PET utilizando catalizadores Fe soportados en nanotubos de carbono para la obtención de BHET.

Gustavo Enrique Ramos Montero<sup>a\*</sup>, Adriana Daniela Ballarini<sup>a</sup>, Patricia Daniela Zgolicz<sup>a</sup>, Sonia Alejandra Bocanegra<sup>a</sup>.

<sup>a</sup> [geramos@fiq.unl.edu.ar](mailto:geramos@fiq.unl.edu.ar), Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica Ing. José Miguel Parera (INCAPE), Universidad Nacional del Litoral – CONICET, Centro Científico Tecnológico CONICET Santa Fe (CCT-SF), Colectora Ruta Nac. N° 168 km. 0, Pje. El Pozo, (3000) Santa Fe, Argentina.

**Palabras clave (Arial 12, negrita):** PET, glicólisis, BHET, nanotubos de carbono

## Resumen

El creciente consumo de polietileno tereftalato (PET) ha generado un aumento significativo en la cantidad de residuos plásticos, lo que impulsa el desarrollo de tecnologías de reciclado químico. Entre ellas, la glicólisis se presenta como una alternativa eficiente para recuperar el monómero bis(2-hidroxietil) tereftalato (BHET) bajo condiciones relativamente suaves (Lalhmagaihazuala et al., 2020). Sin embargo, el catalizador industrial más utilizado, acetato de zinc (ZnAc), presenta desventajas asociadas a su solubilidad en el medio de reacción, dificultando su recuperación y reutilización (Imran et al., 2013). Los soportes carbonosos presentan ventajas desde el punto de vista de la sostenibilidad. Su síntesis requiere, en general, menor demanda energética que la de soportes óxidos convencionales, y su disposición final es más sencilla. Debido a su naturaleza orgánica, los catalizadores agotados pueden ser quemados, permitiendo recuperar los metales activos de forma eficiente y sin generar residuos inorgánicos (Miceli et al., 2021).

En este trabajo se propone el uso de catalizadores heterogéneos basados en hierro soportado sobre nanotubos de carbono (CNT) para la glicólisis de PET. Se evaluaron catalizadores con diferentes contenidos metálicos (4 y 5% p/p Fe/CNT) y modificaciones superficiales del soporte mediante tratamientos oxidativos: ácido nítrico (5Fe/CNT-N) y peróxido de hidrógeno aplicado post-impregnación (5Fe/CNT-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Como referencia se utilizó ZnAc.

Las reacciones se llevaron a cabo a 196 °C durante 90 min, utilizando etilenglicol como agente de solvólisis. Los productos fueron separados en fracciones de oligómeros, dímeros y monómeros, y cuantificados gravimétricamente, las fracciones de dinero y monómero fueron identificadas por FTIR y HPLC. Los resultados muestran que la utilización del soporte (CNT) no presenta conversiones significativas, a pesar de este contar con porcentajes apreciables de Fe (5%), posiblemente debido a que este se encuentra inaccesible para los reactivos.

Todos los catalizadores ensayados presentan altas conversiones de PET (>91%). En particular, el catalizador 5Fe/CNP alcanzó una conversión del 99,3% y el mayor rendimiento a BHET (62,6%), superando al catalizador comercial ZnAc (59,3%). La modificación del soporte influye significativamente en la selectividad: mientras que el tratamiento con ácido nítrico (5Fe/CNP-NS) mantiene alta conversión pero reduce el rendimiento a BHET (54,5%), el tratamiento post-impregnación con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> favorece la formación de subproductos (dímeros, 20,4%).





**Tabla 1.** Resultados de la reacción de glicolisis de PET.

| Catalizador                           | Conversión (%) | Rendimiento molar (%) |        |
|---------------------------------------|----------------|-----------------------|--------|
|                                       |                | BHET                  | Dímero |
| CNT                                   | 8,9            | 0,03                  | 0,95   |
| 4Fe/CNT                               | 91,2           | 32,9                  | 11,6   |
| 5Fe/CNT                               | 99,3           | 62,6                  | 0,42   |
| 5Fe/CNT-N                             | 99,3           | 54,5                  | 1,02   |
| 5Fe/CNT-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> | 99,3           | 34,1                  | 20,4   |
| ZnAc                                  | 92,0           | 59,3                  | 0,0    |

Estos resultados sugieren que la naturaleza de la superficie carbonosa y la interacción metal-soporte juegan un rol clave en la activación del grupo carbonilo del PET y en la selectividad hacia BHET. En particular, la adecuada dispersión del Fe y la presencia de grupos funcionales oxigenados moderados podrían favorecer la reacción de transesterificación (Al-Sabagh et al., 2016).

En conclusión, los catalizadores Fe/CNP se presentan como una alternativa prometedora a los catalizadores homogéneos tradicionales, combinando alta actividad, facilidad de separación y potencial reutilización, contribuyendo al desarrollo de procesos más sostenibles para el reciclado químico de PET.

## Referencias

- Al-Sabagh, A. M., Yehia, F. Z., Harding, D. R. K., Eshaq, Gh., & ElMetwally, A. E. (2016). Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-boosted MWCNT as an efficient sustainable catalyst for PET glycolysis. *Green Chemistry*, 18(14), 3997-4003. <https://doi.org/10.1039/C6GC00534A>
- Imran, M., Kim, D. H., Al-Masry, W. A., Mahmood, A., Hassan, A., Haider, S., & Ramay, S. M. (2013). Manganese-, cobalt-, and zinc-based mixed-oxide spinels as novel catalysts for the chemical recycling of poly(ethylene terephthalate) via glycolysis. *Polymer Degradation and Stability*, 98(4), 904-915. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.01.007>
- Lalmangaihual, S., Laldinpui, Z., Lalmuanpuia, C., & Vanlaldinpuia, K. (2020). Glycolysis of Poly(Ethylene Terephthalate) Using Biomass-Waste Derived Recyclable Heterogeneous Catalyst. *Polymers*, 13(1), 37. <https://doi.org/10.3390/polym13010037>
- Miceli, M., Frontera, P., Macario, A., & Malara, A. (2021). Recovery/Reuse of Heterogeneous Supported Spent Catalysts. *Catalysts*, 11(5), 591. <https://doi.org/10.3390/catal11050591>



## Aprovechamiento del aquafaba y la harina de lentejas para el desarrollo de bioplásticos sostenibles mediante moldeo por inyección

Golzi, María Eugenia<sup>a\*</sup>, Félix Manuel<sup>b</sup>, Marchetti, Lucas<sup>c</sup>, Lorenzo, Gabriel<sup>d</sup>

<sup>a</sup> [eugeniagolzi@gmail.com](mailto:eugeniagolzi@gmail.com), Laboratorio de Investigación en Hidrocoloides y Matrices Alimentarias Saludables (LIHMAS), Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA), CONICET, CICPBA, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP. 47 y 116, La Plata (1900), Argentina; Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Sevilla, Escuela Politécnica Superior, Sevilla, España.

<sup>b</sup> [mfelix@us.es](mailto:mfelix@us.es), Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Sevilla, Escuela Politécnica Superior, Sevilla, España.

<sup>c</sup> [marchetti.lucas@gmail.com](mailto:marchetti.lucas@gmail.com), Laboratorio de Investigación en Hidrocoloides y Matrices Alimentarias Saludables (LIHMAS), Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA), CONICET, CICPBA, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP. 47 y 116, La Plata (1900), Argentina.

<sup>d</sup> [lorenzogabriel@gmail.com](mailto:lorenzogabriel@gmail.com), Laboratorio de Investigación en Hidrocoloides y Matrices Alimentarias Saludables (LIHMAS), Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA), CONICET, CICPBA, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP. 47 y 116, La Plata (1900), Argentina; Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata, Buenos Aires, Argentina.

**Palabras clave:** Aquafaba, Bioplásticos, Valorización, Lentejas, Reología.

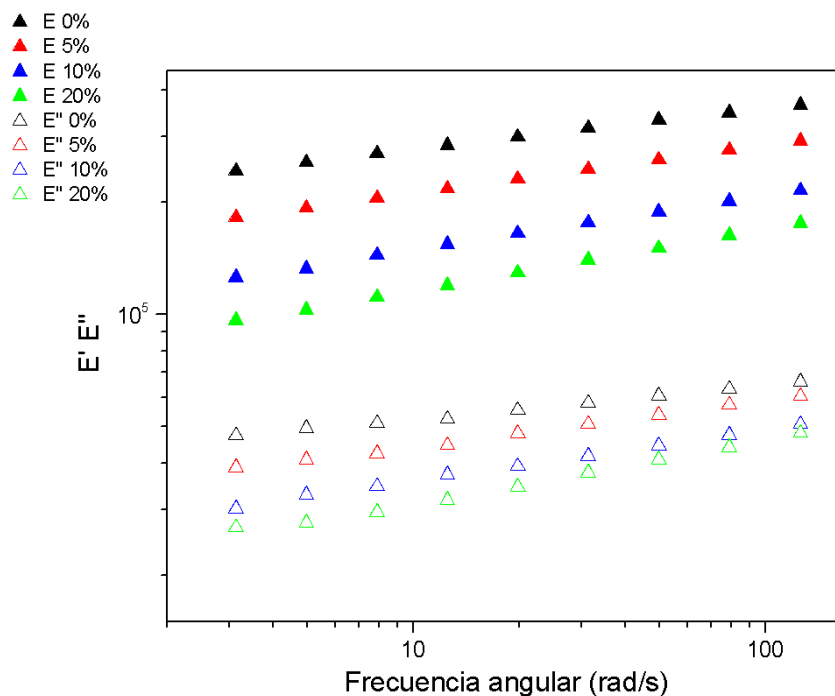
### Resumen

Las proteínas vegetales se han revelado como una fuente prometedora de materiales biodegradables para dar respuesta a la urgente necesidad de alternativas a los plásticos no renovables derivados del petróleo. Este estudio evalúa el desarrollo de bioplásticos mediante la valorización de subproductos agroindustriales de la industria de procesamiento de lentejas: lentejas descartadas no aptas para el consumo directo [1], que se transforman en harina (HL), y aquafaba (AF) (que es el residuo líquido rico en nutrientes generado durante la cocción industrial y el enlatado de legumbres) [2]. Este estudio evalúa el desarrollo de bioplásticos mediante la valorización de subproductos agroindustriales, utilizando mezclas de HL, AF y glicerol.

Los bioplásticos se fabricaron mediante moldeo por inyección ( $T_{\text{mold}} = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; presión de inyección = 500 MPa) y, posteriormente, se determinaron las propiedades mecánicas mediante análisis mecánico dinámico (DMA) y ensayos de tracción uniaxial hasta la rotura. Los ensayos de DMA revelaron un comportamiento predominantemente elástico ( $E' > E''$ ) en todas las formulaciones, lo que confirma la formación de bioplásticos. Se observó una correlación directa entre el contenido de harina y los módulos viscoelásticos. Se seleccionó como referencia (0% de reemplazo de AF) la matriz 80:20 (proporción harina:glicerol), y la HL se sustituyó parcialmente por AF en proporciones del 5, 10 y 20 % (Figura 1). Los resultados indicaron que el aquafaba indujo un efecto plastificante complementario: una sustitución del 10 % igualó la respuesta viscoelástica de la formulación 75:25, mientras que el nivel del 20 % se aproximó al rendimiento de la mezcla 70:30.

La versatilidad lograda pone de manifiesto el potencial del aquafaba para diseñar envases biodegradables a medida en el marco de un modelo de economía circular.





**Figura 1.** Barridos de frecuencia de probetas de bioplásticos de harina de lentejas con distintos porcentajes de sustitución de aquafaba de lentejas mediante análisis mecánico dinámico (DMA).

## Referencias

1. Cirrincione, F., Czaja, T. P., Barone, G., Ahrné, L., & Romano, A. (2026). Valorisation of green lentil waste flour into protein concentrates by ultrafiltration for plant-based food applications. *Journal of Food Engineering*, 411, 112965.
2. Golzi, M. E., Marchetti, L., & Lorenzo, G. (2023). Aquafaba from lentils (*Lens culinaris*) and common beans (*Phaseolus vulgaris*): a study of cooking variables and drying process on the techno-functional and microstructural properties. *International Journal of Food Science and Technology*, 58(10), 5398-5407.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la «Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado» (AUIP) por la beca de movilidad concedida a E. Golzi. También se agradece a la empresa «Grupo L» por el aporte de la materia prima para la producción de muestra



## Valorización de la biomasa mediante MOFs de Zirconio: producción de $\gamma$ -valerolactona.

Evelin L. Savarino<sup>a\*</sup>, Nancy F. Bálsamo<sup>a</sup>, Angélica C. Heredia<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Centro de Investigación y Tecnología Química (CITEQ) - CONICET, Universidad Tecnológica Nacional (UTN – FRC), Córdoba, (Argentina).

<sup>b</sup> Dpto. de Materias Básicas, Universidad Tecnológica Nacional, GAIA (UTN – FRLR), La Rioja, (Argentina).

\*evelinsavarino@gmail.com

**Palabras clave:** MOF UiO-66, ácido levulínico,  $\gamma$ -valerolactona, irradiación por microondas.

### Resumen

La producción de  $\gamma$ -valerolactona (GVL) desde ácido levulínico (LA) es clave para la industria debido a su versatilidad como biocombustible, solvente verde y precursor químico (Maumela et al., 2021). Los MOFs, como el UiO-66, ofrecen una alternativa prometedora por su elevada superficie específica y estabilidad térmica. Este estudio compara la síntesis de UiO-66 mediante irradiación por microondas (MWI) a 2 h (M2) frente al método convencional a 24 h (M24), evaluando su desempeño en la hidrogenación por transferencia catalítica (CTH) de LA a GVL con isopropanol (IPA).

Los reactivos de grado analítico utilizados para la síntesis fueron:  $\text{ZrCl}_4$ , ácido tereftálico (BDC), N,N-dimetilformamida (DMF) y acetona. El método consistió en disolver  $\text{ZrCl}_4$  y BDC en DMF (relación molar 1:1:150) por agitación magnética durante 35 min y por agitación ultrasónica durante 10 min. La etapa de calentamiento se llevó a cabo a una temperatura constante de 120 °C mediante dos mecanismos: MWI empleando un sistema Anton Paar Monowave 450 durante un periodo de 2 h (M2) y calentamiento solvothermal convencional en mufla durante 24 h (M24). En ambas muestras se aplicó un lavado con un 75% en volumen de acetona (25% de DMF), se centrifugó y se secó a 90 °C por 24 h. Los materiales fueron evaluados catalíticamente en la reacción de hidrogenación del LA con IPA (relación molar 1:200). Se incorporaron 0,100 g de catalizador en un reactor de alta presión marca Berghof a 170 °C y 10 bar ( $\text{N}_2$ ) por 3 h. Las muestras fueron analizadas por cromatografía gaseosa utilizando un equipo Agilent 7820A y los catalizadores mediante BET, TGA, MP-AES y SEM (Tabla 1). Los resultados por BET revelaron que el catalizador M2 presenta un área superficial superior frente a la muestra M24. Este incremento en la porosidad se correlaciona con la morfología observada por SEM, donde M2 exhibió un menor tamaño promedio de partícula que M24. Este fenómeno es característico de la síntesis asistida por microondas, la cual favorece una cinética de nucleación acelerada que resulta en nanocristales de menor tamaño y mayor área externa accesible. En cuanto a TGA, como describe Valenzano et al. (2011) se cuantificó la concentración de defectos estructurales mediante la pérdida de masa correspondiente a BDC, presentando M2 mayor porcentaje en comparación con M24. Estos defectos se originan por la ausencia de BDC en la red del MOF, lo que genera vacantes de coordinación en los clústeres de circonio que funcionan como sitios ácidos de Lewis activos, fundamentales para la actividad catalítica. Finalmente, las mediciones de MP-AES arrojaron contenidos de circonio similares para ambos materiales, lo que demuestra que el uso de MWI no altera la incorporación de Zr en la estructura del MOF, asegurando la integridad de los nodos inorgánicos independientemente del método de calentamiento.

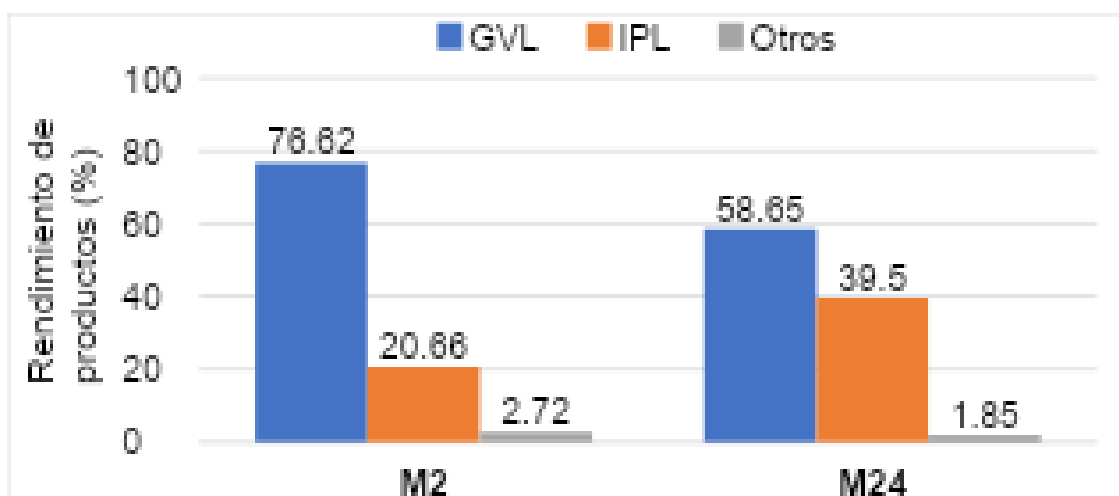




**Tabla 1.** Resultados del análisis textural y elemental de los catalizadores.

| Catalizador | S <sub>BET</sub><br>(m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ) | Defectos<br>(%) | MP-AES<br>(Zr%) | Tamaño promedio<br>de partícula (nm) |
|-------------|-------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------------------|
| M2          | 1200                                                  | 10,37           | 22,30           | 150                                  |
| M24         | 1063                                                  | 7,48            | 22,46           | 200                                  |

Respecto a la evaluación de la actividad catalítica (Figura 1), el material M2 demostró un desempeño superior con un rendimiento hacia GVL que superó significativamente al alcanzado por el material M24. En contraste, el catalizador M24 presentó un mayor rendimiento a isopropil levulinato (IPL), el intermediario éster derivado de la reacción entre el LA y el IPA. Estos resultados se fundamentarían en la mayor densidad de defectos estructurales y mayor área superficial del M2, siendo los sitios generados los fundamentales para coordinar y activar el grupo carbonilo, facilitando la CTH que orienta la reacción de manera selectiva hacia la formación de GVL (Guarinos et al., 2021).



**Figura 1.** Rendimiento de la reacción a 3 h con los catalizadores M2 y M24.

En conclusión, los resultados confirman que, aplicar MWI en la síntesis del material permite optimizar el tiempo de síntesis y mejorar las propiedades estructurales. Desde la valorización de LA a GVL, M2 consolida un mejor rendimiento con respecto a la síntesis convencional (M24).

## Referencias:

- Maumela, M. & Meijboom, R. (2021). *Catalysts*, 11, 292. <https://doi.org/10.3390/catal11020292>
- Valenzano, L. & Lamberti, C. (2011). *Chem. Mater.* 23, 1700–1718, [dx.doi.org/10.1021/cm1022882](https://doi.org/10.1021/cm1022882).
- Guarinos, J. M., & Cirujano, F. G. (2021). *Molecular Catalysis*, 515, 111925. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2021.111925>



# Hidrólisis catalítica de celulosa pre-tratada con líquidos iónicos para la obtención de productos de alto valor

Paula Saires<sup>a\*</sup>, Federico Piovano<sup>a</sup>, Leticia Gómez<sup>a</sup>, Alicia Boix<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica “José Miguel Parera” INCAPE (UNL - CONICET), Santa Fe, Argentina.

\*psaires@fiq.unl.edu.ar

**Palabras clave:** Hidrólisis catalítica, líquidos iónicos, azúcares, moléculas plataforma.

## Resumen

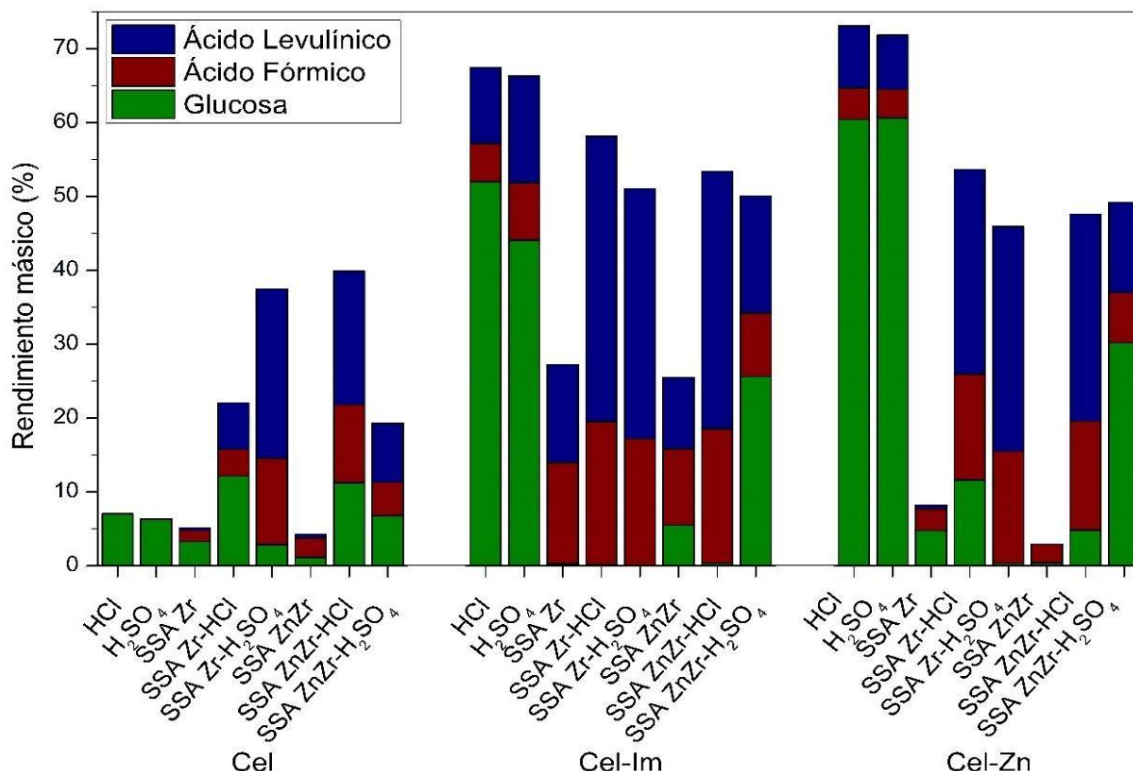
El escenario global actual impulsa la búsqueda de materias primas renovables ante el agotamiento de los recursos fósiles. En este contexto, los residuos de biomasa se consideran un recurso sostenible para la producción de productos de alto valor y biocombustibles en biorrefinerías. La biomasa lignocelulósica es un material complejo compuesto principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, junto con pequeñas cantidades de extractivos. En particular, la celulosa posee múltiples aplicaciones comerciales; sin embargo, su aprovechamiento se ve limitado por su baja solubilidad en solventes convencionales, debido a su estructura supramolecular. En este sentido, algunos líquidos iónicos, que presentan propiedades distintivas frente a los solventes tradicionales, han demostrado ser eficaces para disolver celulosa cristalina y aumentar la porosidad de la matriz, facilitando su hidrólisis química (Lin et al., 2022).

En este trabajo, el pretratamiento de celulosa microcristalina consistió en su disolución en el líquido iónico 1-butil-3-metilimidazolio ([C<sub>4</sub>mim]Cl) (Morales-delaRosa et al., 2014) y en el hidrato de sal inorgánica cloruro de zinc (ZnCl<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O) (Lara-Serrano et al., 2020) para inducir su despolimerización. A ZnCl<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O también se le llama líquido iónico (LI) por la función que desempeña en estos experimentos.

Se prepararon varios viales con celulosa microcristalina y [C<sub>4</sub>mim]Cl o ZnCl<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O en una relación celulosa/LI = 5 %p/p y se llevaron a baño de glicerina a 85 °C con agitación. Efectivamente se observó la disolución de la celulosa en ambos LI, formándose líquidos viscosos. Luego se agregó agua desionizada en exceso para separar el LI de la celulosa pre-tratada (despolimerizada), ya que el LI es soluble en agua y la celulosa precipita. Para la separación de fases se llevó a centrifugación y el precipitado se secó a baja temperatura.

Posteriormente, la celulosa pretratada y sin tratar se sometió a hidrólisis catalítica empleando catalizadores homogéneos [HCl (0,2 mol/L) y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,2 mol/L)], catalizadores heterogéneos mesoporosos [ZrO<sub>2</sub> modificada con ácido sulfosalicílico (SSA Zr) y ZnO-ZrO<sub>2</sub> modificados con ácido sulfosalicílico (SSA ZnZr)], y la combinación de ambos tipos de catalizadores. Las reacciones de hidrólisis se realizaron en un equipo microondas a 160 °C durante 1 h. Los rendimientos a productos se evaluaron mediante HPLC UV/Vis, observándose la formación de monosacáridos (glucosa y fructosa) y compuestos plataforma, tales como furanos (furfural y 5-HMF) y ácidos orgánicos (fórmico y levulínico). En la Figura 1 se muestran los rendimientos de los tres productos de mayor relevancia obtenidos en las reacciones de hidrólisis.





**Figura 1.** Rendimientos a productos en la hidrólisis catalítica de celulosa tratada con LI y sin tratar. (Cel-Im: celulosa pre-tratada con [C<sub>4</sub>mim]Cl; Cel-Zn: celulosa pre-tratada con ZnCl<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O; Cel: celulosa cristalina sin pretratamiento con LI)

En todos los casos se observó que el pretratamiento de la celulosa con LI mejora los rendimientos de hidrólisis en comparación con la celulosa sin tratar. Los mayores rendimientos de glucosa (44 a 60 %) se obtuvieron en la hidrólisis de Cel-Im y Cel-Zn catalizadas con HCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,2 mol/L). Por otro lado, cuando se empleó una mezcla de catalizador homogéneo y heterogéneo, la reacción se desplazó hacia la formación de ácidos orgánicos, principalmente ácido fórmico y levulínico. En particular, en las hidrólisis de Cel-Im se obtuvieron rendimientos de 58, 51 y 53 % para estos ácidos al emplear SSA Zr-HCl, SSA Zr-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y SSA ZnZr-HCl, respectivamente. En el caso de Cel-Zn, las hidrólisis catalizadas por SSA Zr-HCl, SSA Zr-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y SSA ZnZr-HCl dieron lugar a rendimientos de ácido fórmico y levulínico de 42, 46 y 43 %, respectivamente. En conjunto, estos resultados indican que HCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> favorecen la hidrólisis de la celulosa a glucosa, mientras que la presencia de catalizadores heterogéneos ácidos promueve la isomerización de la glucosa a fructosa, su deshidratación a 5-HMF y la posterior hidrólisis de este a ácido fórmico y levulínico.

## Referencias

- Lara-Serrano, M., Morales-delaRosa, S., Campos-Martín, J. M., & Fierro, J. L. (2020). Green Chemistry, 22(12), 3860-3866. <https://doi.org/10.1039/D0GC01066A>
- Lin, X., Jiang, K., Liu, X., Han, D., & Zhang, Q. (2022). Journal of Molecular Liquids, 359, 119326. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.119326>
- Morales-delaRosa, S., Campos-Martín, J. M., & Fierro, J. L. (2014). ChemSusChem, 7(12), 3467-3475. <https://doi.org/10.1002/cssc.201402466>



## Síntesis y caracterización de nefelinas adsorbentes utilizando residuos de minería del carbón de Samacá - Boyacá

Vanessa Tatiana Salas Salas<sup>a</sup>, Dairy Slendy Parra Borda<sup>b</sup>, Carlos Ordulio Calderón Carvajal<sup>c</sup>, Marco Antonio Ardila Barragán<sup>d</sup>, María del Pilar Triviño Restrepo<sup>e</sup>

<sup>a</sup> [vanessa.salas@uptc.edu.co](mailto:vanessa.salas@uptc.edu.co), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.

<sup>b</sup> [dairy.parra@uptc.edu.co](mailto:dairy.parra@uptc.edu.co), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.

<sup>c</sup> [carlos.calderon02@uptc.edu.co](mailto:carlos.calderon02@uptc.edu.co), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.

<sup>d</sup> [marco.ardila@uptc.edu.co](mailto:marco.ardila@uptc.edu.co), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.

<sup>e</sup> [pilar.trivino@uptc.edu.co](mailto:pilar.trivino@uptc.edu.co), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.

**Palabras clave:** Residuos de minería, síntesis cerámica, nefelina, adsorción.

### Resumen

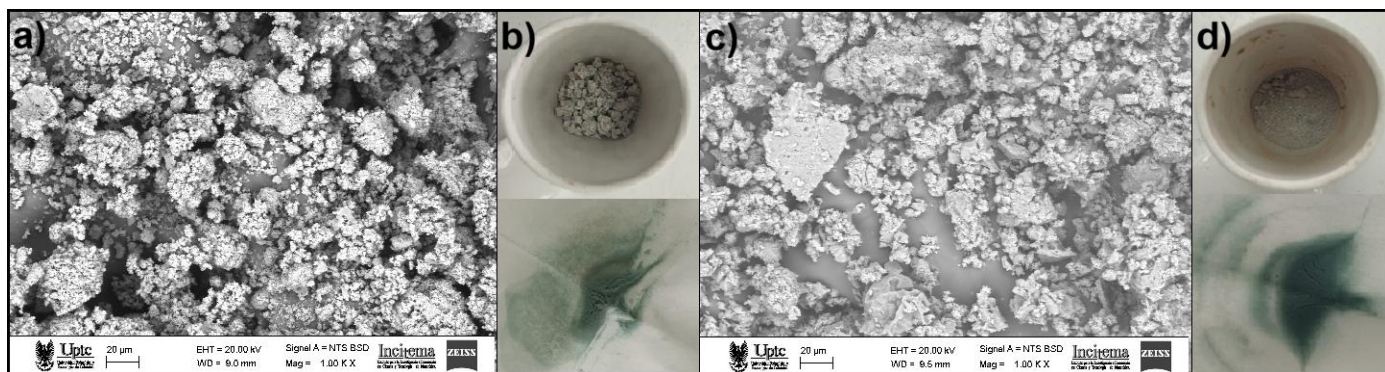
La minería del carbón en el altiplano cundiboyacense, genera grandes volúmenes de Residuos Estériles de Minería del Carbón (REMC), ricos en aluminosilicatos, la acumulación de estos ocasiona impactos ambientales como drenaje ácido de mina, lixiviación de metales pesados y emisión de material particulado, entre otros (BIAN et al., 2010). Sin embargo, puede ser una fuente viable para la síntesis de materiales funcionales en el marco de la economía circular (Elewa et al., 2025). Uno de estos productos es la nefelina; mineral feldespatóide con alta reactividad química y capacidad de intercambio iónico de interés en adsorción de metales pesados en solución acuosa, debido a la disponibilidad de sitios activos y presencia de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en su estructura (Allahkarami et al., 2025; Villafranca et al., 2024).

En esta investigación, la síntesis de materiales tipo nefelina se realizó mediante dos rutas de activación alcalina: sólido-sólido (S-S) y sólido-líquido (S-L), utilizando NaOH y tratamiento térmico a  $600^\circ\text{C}$ , con base en análisis termogravimétrico. Los REMC obtenidos de COQUECOL (Samacá – Boyacá) y el material sintetizado se caracterizaron por Difracción de Rayos X (DRX) y Microscopía Electrónica de Barrido acoplada a Espectroscopia de rayos X de Energía Dispersiva (MEB-EDS). En un análisis semicuantitativo por DRX se determinó una composición del REMC con fases cristalinas de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), 53%; moscovita ( $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ ), 26%; clinocloro ( $(\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ), 14% y caolinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), 6%. En esta caracterización, no se encontró ningún tipo de nefelina –  $(\text{Na,K})\text{AlSiO}_4$  (Gregorkiewicz, 1984). En contraste, el producto obtenido para la ruta S-L fue en un 75% de material tipo nefelina con  $(\text{Na}_{6.66}\text{Ca}_{0.57}\text{K}_{0.20}\text{Al}_{8.00}\text{Si}_{8.00}\text{O}_{32.00})$ , con sistema cristalino hexagonal, grupo espacial  $P-6_3$  y un 25% de cuarzo- $\beta$  ( $\text{SiO}_2$ ) como fase secundaria. Estos resultados son consistentes con la transformación morfológica que se muestra en las Figuras 1a y 1c, donde se evidencian morfologías con dos contrastes predominantes, un contraste brillante ( $\text{SiO}_2$ ) y otro oscuro  $(\text{Na}_{6.66}\text{Ca}_{0.57}\text{K}_{0.20}\text{Al}_{8.00}\text{Si}_{8.00}\text{O}_{32.00})$ . Los ensayos de adsorción se realizaron con una mezcla de 50 mg del material sintetizado y 10 mL de solución de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  con concentraciones entre 0 y 0.033 M de  $\text{Cu}^{2+}$ , manteniendo el sistema bajo agitación de 250 RPM durante 20 minutos, a temperatura ambiente y pH de 5.23. Después del proceso de filtración, el retenido cambio de color por intercambio iónico con el  $\text{Cu}^{2+}$  como se observa en las Figuras 1b y 1d. Para identificar la capacidad de adsorción de  $\text{Cu}^{2+}$ , el filtrado se acomplejó con hidróxido de amonio ( $\text{NH}_3\text{OH}$ ) al 25% de pureza y se midió por espectrofotometría de UV-Vis a 604 nm; longitud de onda de absorción máxima del complejo de  $\text{Cu}^{2+}$ .

Los parámetros de ajuste de los modelos de Langmuir y Freundlich para las curvas de adsorción se muestran en la Tabla 1. Los resultados muestran que el material obtenido por la ruta S-L presenta mayor capacidad de adsorción ( $q_{\text{max}} = 47.8469 \text{ mg/g}$ ) en comparación con el material obtenido por la ruta S-S ( $q_{\text{max}} = 33.6700 \text{ mg/g}$ ); esto indica una mayor disponibilidad de sitios activos mejorando una interacción más eficiente durante el proceso de adsorción.







**Figura 1.** Micrografías con electrones retrodispersados – BSE y cambio físico con el proceso de adsorción para: a) - b) material obtenido por la ruta S-S, y c) - d) material obtenido por la ruta S-L.

**Tabla 1.** Parámetros del modelo de Langmuir y Freundlich para la adsorción de  $\text{Cu}^{2+}$  con el material sintetizado.

| MÉTODO     | Langmuir                |              |        | Freundlich |        |        |
|------------|-------------------------|--------------|--------|------------|--------|--------|
|            | $q_{\text{max}}$ (mg/g) | $K_L$ (L/mg) | $R^2$  | $K_F$      | $n$    | $R^2$  |
| <b>S-S</b> | 33.6700                 | 0.0076       | 0.9696 | 9.9907     | 1.2520 | 0.9996 |
| <b>S-L</b> | 47.8469                 | 0.0044       | 0.9841 | 9.9976     | 1.1531 | 0.9999 |

En conjunto, los resultados demuestran que los estériles de minería del carbón de Samacá - Boyacá, son una materia prima viable para la obtención de nefelinas adsorbentes con aplicación en remediación de aguas contaminadas con cationes de cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) como se demostró en los datos reportados en este estudio.

## Referencias

- Allahkarami et al., (2025). Fabricating nepheline syenite-chitosan composite for heavy metals uptake: Mechanism insight via statistical physics modeling. *Sep. Purif. Technol*, 354, 129152. DOI: 10.1016/J.SEPPUR.2024.129152
- BIAN et al., (2010). Environmental issues from coal mining and their solutions. *J. Min. Sci. Technol. (China)*, 20(2), 215–223. DOI: 10.1016/S1674-5264(09)60187-3
- Elewa et al., (2025). Utilizing metakaolin and siliceous waste from the alum industry to create geopolymer adsorbent for the removal of certain heavy metals. *Sci. Rep.*, 15(1). DOI: 10.1038/s41598-025-10800-w
- Gregorkiewicz, M. (1984) Crystal structure and Al/Si ordering of a synthetic nepheline. *Bull. Mineral.*, 107, 499-507.
- Villafranca et al., (2024). Aluminosilicates-based nanosorbents for heavy metal removal – A review. *J. Hazard. Mater*, 474, 134552. DOI: 10.1016/J.JHAZMAT.2024.134552



# **Estudio termodinámico para la valorización de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> mediante síntesis directa de dimetil éter**

**Tomás Mahmud<sup>a</sup>, Cristina Padró<sup>b\*</sup>, Andrés Trasarti<sup>c</sup>, María Eugenia Sad<sup>d\*</sup>**

<sup>a</sup> *tmahmud@ful.unl.edu.ar, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica, Santa Fe*

<sup>b</sup> *cpadro@fiq.unl.edu.ar, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica, Santa Fe*

<sup>c</sup> *trasarti@fiq.unl.edu.ar, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica, Santa Fe*

<sup>d</sup> *mesad@fiq.unl.edu.ar, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica, Santa Fe*

**Palabras clave:** Dimetil éter, equilibrio termodinámico, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> verde

## **Resumen**

El CO<sub>2</sub> es reconocido como el principal responsable del efecto invernadero, causando el calentamiento global y el cambio climático. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (COP21, París, 2015) han enfatizado la necesidad de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> al menos a la mitad del valor actual para 2050, con el objetivo de limitar el aumento de la temperatura media global a un máximo de 2 °C (Zhou & Wang, 2016). En este contexto, la producción de dimetil éter (DME) a partir de la hidrogenación catalítica con H<sub>2</sub> verde de CO<sub>2</sub> aparece como una tecnología prometedora, pudiendo ser utilizado como combustible alternativo para motores diésel, combustible para generación de energía en plantas de turbinas de gas e intermediario químico para la producción de olefinas y gasolina sintética (Catizzzone et al., 2018).

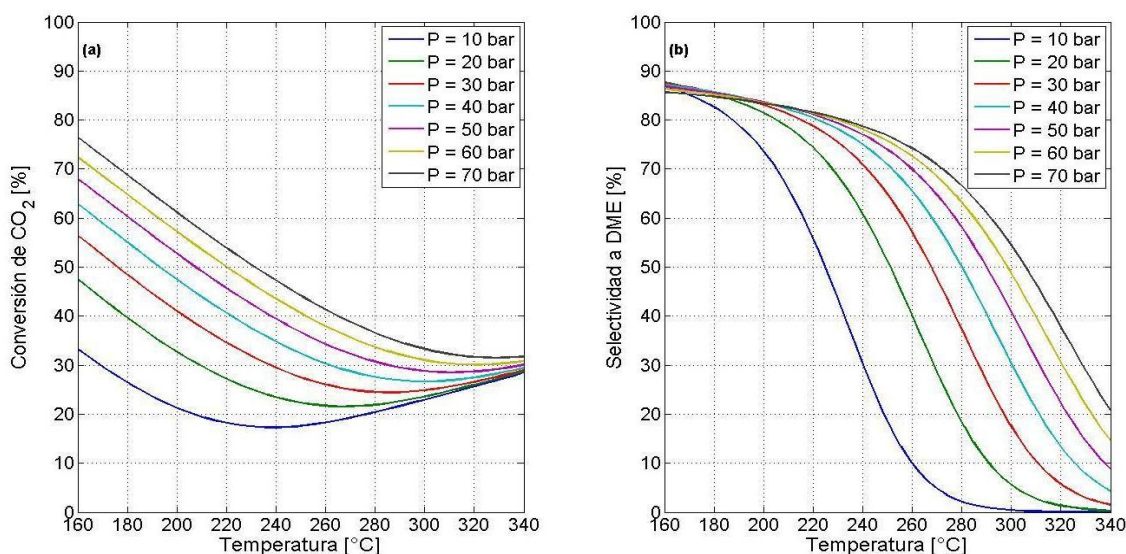
El presente trabajo forma parte de una investigación doctoral en curso orientada al desarrollo de catalizadores para la valorización de H<sub>2</sub> verde y CO<sub>2</sub> biogénico, como el obtenido como subproducto en la producción de bioetanol por fermentación. Como etapa inicial y fundamental, se llevó a cabo un estudio termodinámico del sistema de reacciones, con el fin de establecer las condiciones de operación favorables para las etapas experimentales y de modelado posteriores.

El sistema de reacciones para síntesis de DME en un paso involucra las siguientes reacciones independientes: (1) Hidrogenación:  $\text{CO}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ ,  $\Delta H^\circ = -49,5 \text{ kJ/mol CO}_2$ ; (2) Deshidratación:  $2\text{CH}_3\text{OH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ,  $\Delta H^\circ = -23,4 \text{ kJ/mol DME}$ ; (3) Reverse water gas shift (RWGS):  $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ ,  $\Delta H^\circ = +41,2 \text{ kJ/mol CO}_2$ .

Las constantes de equilibrio de cada reacción se calcularon a partir de la energía libre de Gibbs mediante  $\Delta G^\circ_j = -RT \cdot \ln(K_{eqj})$ . Para el cálculo de los cambios de energía libre de Gibbs se utilizaron valores de entalpías y entropías estándar (Perry & Green, 1997), siendo posteriormente corregidos a la temperatura deseada mediante integración de las capacidades caloríficas  $C_p(T)$ . Como paquete termodinámico se utilizó Peng-Robinson. El sistema de ecuaciones de equilibrio se resolvió en términos de los grados de avance de cada reacción, obteniendo la conversión de equilibrio de CO<sub>2</sub> y las selectividades en base de carbono hacia DME, metanol y CO, utilizando el software Octave, para el rango de temperaturas de

160°C a 340°C y un rango de presiones de 10 a 70 bares, con una alimentación de H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en relación molar 3/1. Los principales resultados se presentan en la Figura 1.





**Figura 1. a) Efecto de la temperatura y la presión de reacción sobre la conversión en equilibrio de  $\text{CO}_2$ .  $\text{H}_2/\text{CO}_2$  (mol/mol) = 3. b) Efecto de la temperatura y presión de reacción sobre la selectividad de equilibrio del DME.  $\text{H}_2/\text{CO}_2$  (mol/mol) = 3**

La conversión de  $\text{CO}_2$  para una dada temperatura aumenta al aumentar la presión (Figura 1a) debido a la estequiometría de la reacción de hidrogenación. En cuanto a la variación de la conversión con la temperatura, se observa un mínimo alrededor de 220-260°C. Esto se debe a la competencia entre las reacciones reversibles exotérmicas (hidrogenación y deshidratación) y endotérmica (RWGS).

En cuanto a la selectividad a DME, se observa que a bajas temperaturas se obtienen altas selectividades independientemente de la presión (Figura 1b). Al aumentar la temperatura, la selectividad a DME disminuye debido a que se favorece la formación de CO vía RWGS. El efecto de la presión cobra mayor importancia a temperaturas más altas, donde mayores presiones permiten mantener selectividades a DME más elevadas.

Esto muestra claramente que las condiciones favorables para la obtención selectiva de DME, desde un punto de vista termodinámico, son bajas temperaturas y altas presiones, donde los valores de equilibrios determinados en este trabajo son: conversión de  $\text{CO}_2$  de aproximadamente 75% y selectividades a DME del 85%.

## Referencias:

- Catizzzone, E., Bonura, G., Migliori, M., Frusteri, F., & Giordano, G. (2018).  $\text{CO}_2$  recycling to dimethyl ether: State-of-the-art and perspectives. *Molecules*, 23(1), 31. <https://doi.org/10.3390/molecules23010031>
- Perry, R. H., & Green, D. W. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (7th ed., pp. 2-195 – 2-198). McGraw-Hill.
- Zhou, P., & Wang, M. (2016). Carbon dioxide emissions allocation: A review. *Ecological Economics*, 125, 47–59. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.03.001>



# **Efecto de la especie metálica en sistemas heterogéneos de deshidrogenación para la metátesis catalítica de alcanos: una ruta prometedora para la revalorización de residuos plásticos.**

Ignacio Centeno-Vega<sup>a\*</sup>, Cristina Megías-Sayago<sup>a</sup>, Nuria Rendón<sup>a</sup>, Andrés Suárez<sup>a</sup> y Svetlana Ivanova<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Química Inorgánica, Instituto de Investigaciones Químicas and Centro de Innovación en Química Avanzada (ORFEO-CINQA), Centro Mixto CSIC-Universidad de Sevilla, 41092 Sevilla, Spain

<sup>b</sup> Departamento de Química Inorgánica e Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, Centro Mixto CSIC-Universidad de Sevilla, 41092 Sevilla, Spain

\*correo: icenteno@us.es

**Palabras clave:** Poliolefinas, deshidrogenación, metátesis, revalorización

## **Resumen**

Actualmente se producen en torno a 400Mt de plásticos anualmente a nivel mundial, de las cuales se estima que el 75% se desechan tras un solo uso. Las poliolefinas, materiales que destacan por su gran estabilidad química, suponen el 50% del total de la industria del plástico, resaltando la importancia de desarrollar estrategias novedosas para la revalorización de estos residuos empleándolos como materias primas en la obtención de valiosos hidrocarburos.[1] La metátesis cruzada de alcanos surge en este contexto como una ruta prometedora para la depolimerización controlada de poliolefinas bajo condiciones de reacción suaves sin la necesidad de aportar hidrógeno externo, obteniendo como resultado una distribución de alcanos de distinta longitud de cadena apta para ser empleada como combustibles para el transporte.[2,3]

Para llevar a cabo la metátesis cruzada de alcanos se necesitan 2 catalizadores con distinta funcionalidad: un catalizador de deshidrogenación y otro de metátesis. El proceso comienza con el catalizador de deshidrogenación introduciendo insaturaciones en las posiciones internas de la cadena hidrocarbonada, haciendo que ésta sea susceptible de ser posteriormente utilizada en la reacción de metátesis. De esta forma, empleando un alcano ligero en exceso (como el *n*-octano, usado como disolvente) se conseguirá una reducción del peso molecular de la poliolefina inicial en cada ciclo catalítico. Finalmente, el catalizador de deshidrogenación es capaz de hidrogenar de vuelta las olefinas formadas en el proceso, obteniendo una distribución de alcanos saturados.

En esta investigación se ha evaluado la actividad catalítica en la metátesis cruzada de *n*-octano con *n*-octadecano (usado como molécula modelo de poliolefinas) estudiando la conversión de C<sub>18</sub> y el rendimiento de los diversos alcanos obtenidos. Para ello, en este sistema se han empleado una serie de óxidos metálicos soportados (Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, MoO<sub>x</sub>, y WO<sub>x</sub>) como catalizadores de metátesis, examinando su efecto en el proceso.

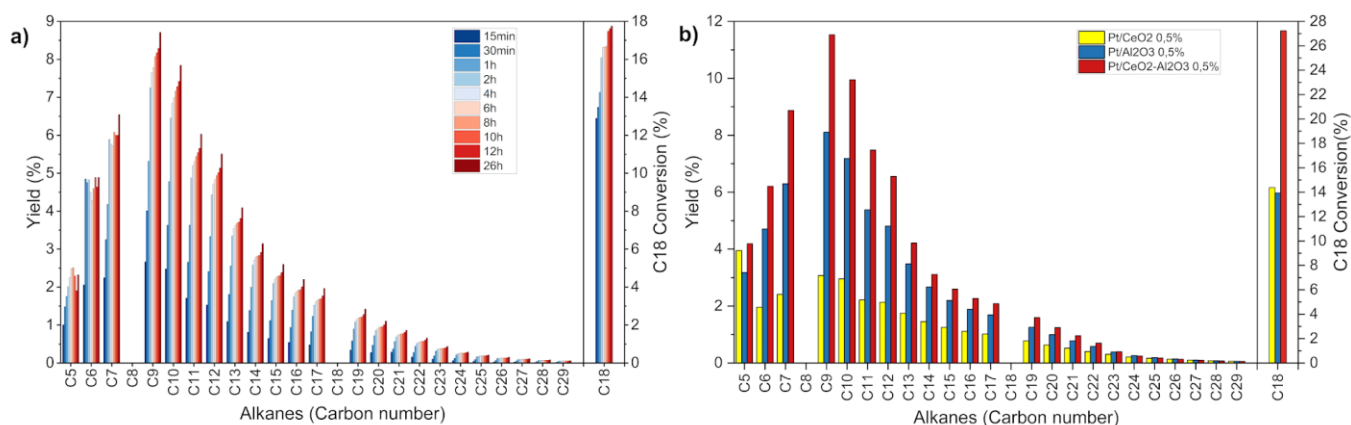
Por otro lado, la especie metálica ha demostrado ser crucial para la actividad del catalizador de deshidrogenación. Con tal fin, se han preparado una serie de ligandos de tipo pincer basados en fosfinitos y, posteriormente, fueron empleados para obtener el correspondiente complejo organometálico con iridio. Estos complejos se heterogeneizaron sobre diversos soportes inorgánicos mediante un enlace covalente en la posición *para* del anillo, como se confirmó con espectroscopía FTIR, obteniendo un catalizador robusto y reciclable que mantiene la actividad original en fase homogénea. Además, con tal de establecer una comparación directa con sistemas heterogéneos tradicionales ya establecidos, una serie de catalizadores basados en nanopartículas de Ir y Pt (Figura 1) con distintas cargas metálicas y soportes fueron evaluados y contrastados con la especie molecular Ir(III) presente en los complejos.





Adicionalmente, debido a la complejidad del sistema y a los numerosos componentes involucrados, diversos parámetros influenciando la eficiencia del proceso fueron sistemáticamente evaluados, como la naturaleza del soporte, el efecto de su deshidroxilación y el pre-tratamiento del catalizador.

Este trabajo aporta conocimiento crítico con respecto al diseño de catalizadores novedosos para la valorización de residuos plásticos, allanando el camino para una producción más sostenible de hidrocarburos, objetivo de gran valor en la actualidad teniendo en cuenta la situación geopolítica y económica global.



**Figura 1.a)** Evolución de la distribución de productos y la conversión de *n*-octadecano con el tiempo en la metátesis cruzada de C<sub>18</sub> con *n*-octano como disolvente usando Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,5%wt. como catalizador de referencia;  
**b)** Rendimiento de los productos obtenidos y conversión de *n*-octadecano en función del soporte.  
 (Condiciones: 8 mL disolución C<sub>18</sub> al 5% wt. en C<sub>8</sub>, 200 mg catalizador deshidrogenación, 200 mg Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub>/α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5% wt., 500 rpm, 200 °C, 2 h)

## Referencias

- [1] Plastics Europe and EPRO, European Association of Plastics Recycling and Recovery Organisations (2024). *The Circular Economy of Plastics, A European Analysis, 2024*. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/the-circular-economy-for-plastics-a-european-analysis-2024/>
- [2] Xiangqing Jia et al., (2016). *Sci. Adv.* 2, Vol. 2, Issue 6, e1501591. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501591>
- [3] C. Megías-Sayago et al., (2023), *Appl. Catal. B*, 338, <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2023.123002>.



## Electrodiálisis bipolar en la purificación de efluentes farmacéuticos (AINES) mediante configuraciones de membranas de intercambio iónico

**Andrea Molina Jimenez<sup>a\*</sup>**, Luisina Demonte<sup>a</sup>, Brian Noel González<sup>a</sup>, Laura Beatriz Gutierrez<sup>a</sup>, María Laura Bosko<sup>a</sup>

<sup>a</sup> INCAPE (UNL-CONICET), Santa fe

\* andrea.molina.jimenez@gmail.com

**Palabras clave:** Electrodiálisis bipolar, transporte de iones, AINES, configuraciones de membranas.

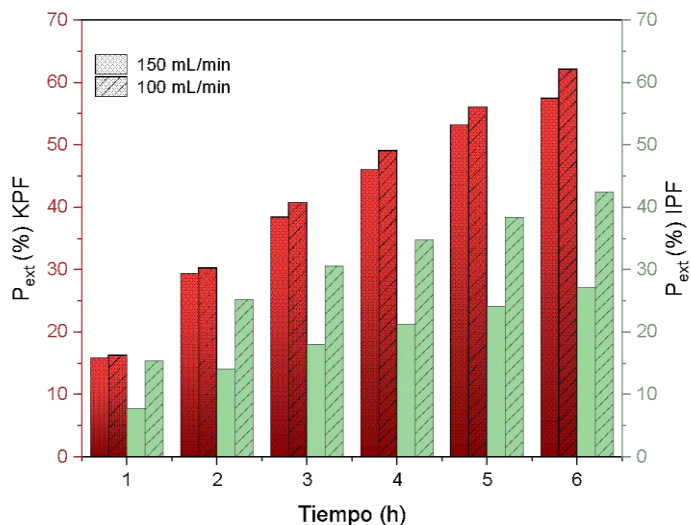
### Resumen

La electrodiálisis (ED) es una tecnología avanzada que emplea membranas de intercambio iónico y corriente eléctrica como fuerza impulsora para la separación selectiva de iones. Dada su eficacia en la purificación de efluentes, este trabajo estudia su aplicación en matrices industriales de fármacos antiinflamatorios no esteroideos (AINES), específicamente ketoprofeno (KPF) e ibuprofeno (IPF), los cuales comparten propiedades analgésicas e insolubilidad en agua.

Una celda convencional se compone de compartimentos de diluido (CD), donde se encuentra la solución a tratar, y de concentrado (CC), donde se acumulan los iones removidos. Estas secciones están delimitadas por membranas aniónicas (MA) y catiónicas (MC), características por permitir el paso selectivo de contraiones y evitando el de coiones. Adicionalmente, se incorporan membranas bipolares (MBP) que, mediante el desdoblamiento del agua en su interfase, generan protones e hidroxilos (Pärnamäe et al., 2021). En este estudio se evaluó el comportamiento del KPF y el IPF bajo una configuración de celda MBP–CD–MA–CC–MC, con recirculación de la solución de enjuague ubicada en los extremos de la celda, para estabilizar el pH. Se seleccionó este diseño debido a la capacidad de la MBP para aportar iones hidroxilo al compartimento diluido desde su cara aniónica, optimizando el proceso de separación (Roman et al., 2020).

Dado que ambos AINES presentan una baja solubilidad acuosa, se empleó bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) como agente solubilizante. Considerando que el CD recibe un aporte continuo de iones hidroxilo desde la membrana bipolar, se buscó la concentración mínima de bicarbonato necesaria para la solubilización; esto permite minimizar la competencia iónica a través de la membrana de intercambio aniónico. Debido a sus propiedades fisicoquímicas específicas, el KPF se solubilizó con 100 ppm de  $\text{NaHCO}_3$ , mientras que el IPF requirió 200 ppm. Asimismo, se evaluó el efecto del flujo de alimentación (100 y 150 mL/min) sobre el porcentaje de extracción ( $P_{\text{ext}}$ ). Los mayores rendimientos se obtuvieron a 100 mL/min, alcanzando un  $P_{\text{ext}}$  del 62% para el KPF y del 43% para el IPF, como se detalla en la Figura 1.





**Figura 1.** Extracción de KPF (rojo) e IPF (verde) a 6 horas de operación cambiando el flujo de alimentación (100 y 150 mL/min), manteniendo constante la corriente en 6 mA.

Al igual que el  $P_{ext}$ , los indicadores energéticos para el KPF muestran un desempeño óptimo a un flujo de 100 mL/min. Este comportamiento se atribuye a que la reducción del flujo incrementa el tiempo de residencia de los iones en la superficie de la membrana, favoreciendo la transferencia de masa. Como consecuencia, no solo se maximiza la extracción, sino que se optimizan la eficiencia de corriente ( $\eta$ ) y el consumo energético (E). En conclusión, la configuración evaluada demuestra ser una tecnología eficaz para mejorar simultáneamente la selectividad de la separación y la viabilidad energética del proceso.

**Tabla 1.** Resultados de Eficiencia de corriente y consumo energético.

|     | Flujo (ml/min) | $\eta$ (%) | E (kwh/kg) | $P_{ext}$ (%) |
|-----|----------------|------------|------------|---------------|
| KPF | 100            | 13         | 17         | 62            |
|     | 150            | 12         | 17         | 57            |
| IPF | 100            | 11         | 20         | 43            |
|     | 150            | 7          | 26         | 27            |

## Referencias:

Pärnamäe, R., Mareev, S., Nikonenko, V., Melnikov, S., Sheldeshov, N., Zabolotskii, V., Hamelers, H. V. M., & Tedesco, M. (2021). Bipolar membranes: A review on principles, latest developments, and applications. En *Journal of Membrane Science* (Vol. 617). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118538>

Roman, M., Gutierrez, L., Van Dijk, L. H., Vanoppen, M., Post, J. W., Wols, B. A., Cornelissen, E. R., & Verliefde, A. R. D. (2020). Effect of pH on the transport and adsorption of organic micropollutants in ion-exchange membranes in electrodialysis-based desalination. *Separation and Purification Technology*, 252, 117487.



## Evaluación de la electrodiálisis para la recuperación de ketoprofeno en efluentes industriales sintéticos.

Andrea Molina Jimenez<sup>a</sup>, Ignacio Cristian Huber<sup>a</sup>, Brian Noel González<sup>a</sup>, Laura Beatriz Gutierrez<sup>a</sup>, María Laura Bosko<sup>a</sup>

<sup>a</sup> INCAPE (UNL-CONICET), Santa fe

\*andrea.molina.jimenez@gmail.com

**Palabras clave:** Electrodiálisis, AINES, parámetros operacionales, efluentes industriales.

### Resumen

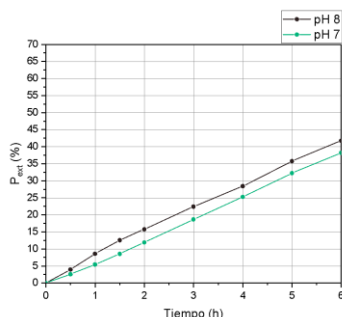
La gestión de residuos en la industria farmacéutica presenta retos significativos, especialmente en el caso de los antiinflamatorios no esteroideos (AINE) como el ketoprofeno (KPF). Este fármaco representa un desafío para la industria debido a su baja solubilidad en agua y su frecuente detección en ecosistemas acuáticos (Tiumina et al., 2023). Para superar esta limitación técnica y mejorar su gestión, se recurre a la adición de bicarbonato de sodio, logrando así incrementar su solubilidad. Ante esta problemática, la electrodiálisis (ED) surge como una solución tecnológica de alto impacto para la separación selectiva de iones mediante el uso de la corriente eléctrica como fuerza impulsora y las membranas de intercambio iónico (aniónicas y catiónicas), que impiden el paso de coiones y permite el de contraiones.

En este trabajo se empleó una celda de electrodiálisis (José et al., 2021), equipada con compartimentos de enjuague en los extremos, los cuales están en contacto directo con los electrodos y conectados entre sí para la regulación del pH. La configuración consta de tres compartimentos principales delimitados por tres membranas de intercambio iónico en serie: dos catiónicas y una aniónica intermedia. El sistema se divide en un compartimento de diluido (DC), que contiene la corriente a desionizar, y uno de concentrado (CC) para la acumulación de iones. Las pruebas experimentales tuvieron una duración de 6 horas, con adiciones de NaOH en DC para mantener el parámetro deseado constante, con monitoreo de corriente y voltaje del proceso, además de pH y conductividad en cada compartimento y con extracciones de alícuotas para cuantificar mediante UV-vis la evolución de las concentraciones de KPF en cada compartimento.

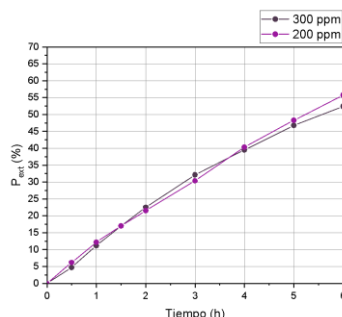
Los resultados indicaron que el pH influye directamente en la eficiencia: a un pH de 8 en el DC se obtuvo un porcentaje de extracción ( $P_{ext}$ ) del 42%, superior al obtenido a pH 7 con 38%. Al evaluar la concentración inicial de bicarbonato de sodio (200 y 300 ppm) manteniendo el pH en 8, se alcanzaron extracciones del 56% y 52%, respectivamente. Finalmente, al operar a corriente constante, los mejores resultados se obtuvieron con una intensidad de 10 mA (Figura 1) logrando extracciones del 69% a diferencia del obtenido con una intensidad de 11 mA con el 62%.



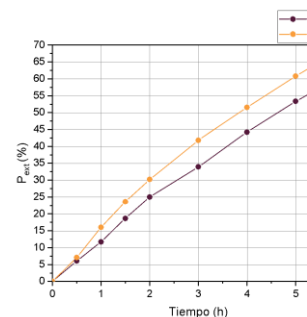




a) pH constante en DC (300 ppm KPF, 100 ppm NaHCO<sub>3</sub>, 30 V).



b) pH 8 constante en DC variando la concentración inicial de NaHCO<sub>3</sub> (300 ppm KPF, pH 8, 30 V).



c) Corriente constante (300 ppm KPF, 30 V).

**Figura 1.** Evolución del porcentaje de extracción en 6 horas de operación.

Al contrastar los porcentajes de extracción ( $P_{ext}$ ) con la eficiencia de corriente ( $\eta$ ) y el consumo energético ( $E$ ), se observa que los procesos con mayor eficiencia no coinciden necesariamente con los mayores rendimientos de extracción (Tabla 1). Estos hallazgos subrayan la necesidad de profundizar en la optimización de esta tecnología para identificar condiciones operativas que equilibren simultáneamente todos los parámetros de desempeño.

**Tabla 1.** Resultados de la eficiencia de corriente, el consumo energético y porcentaje de extracción.

| Parámetros                                     | Valores | $\eta$ (%) | E (kwh/kg) | $P_{ext}$ (%) |
|------------------------------------------------|---------|------------|------------|---------------|
| pH                                             | 7       | 9          | 47         | 38            |
|                                                | 8       | 10         | 44         | 42            |
| Concentración inicial NaHCO <sub>3</sub> (ppm) | 200     | 9          | 49         | 56            |
|                                                | 300     | 7          | 58         | 52            |
| Corriente (mA)                                 | 10      | 9          | 47         | 69            |
|                                                | 11      | 7          | 58         | 62            |

En conclusión, estos hallazgos demuestran que, mediante el control riguroso de parámetros operativos como el pH y la intensidad de corriente, la electrodialisis es capaz de tratar corrientes industriales con altas cargas de fármacos. Este proceso permite obtener efluentes con niveles de pureza aptos para su reuso o disposición segura, posicionándose como una tecnología prometedora para la economía circular y la mitigación de contaminantes emergentes en la industria farmacéutica.

## Referencias:

José, C., Briand, L. E., Michlig, N., Repetti, M. R., Benedetich, C., Cornaglia, L. M., & Bosko, M. L. (2021). Isolation of ibuprofen enantiomers and racemic esters through electrodialysis. *Journal of Membrane Science*, 618. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118714>

Tiumina, E., Subbotina, M., Polygalov, M., Tyan, S., & Ivshina, I. (2023). Ketoprofen as an emerging contaminant: occurrence, ecotoxicity and (bio)removal. En *Frontiers in Microbiology* (Vol. 14). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1200108>



# Síntesis de filtros catalíticos combinando fibra celulósica reciclada y fibras biomórficas.

Leonardi Sabrina<sup>a</sup>, Tivirolí Juan Francisco<sup>b</sup>, Milt Viviana<sup>c</sup>

<sup>a</sup> [sleonardi@fiq.unl.edu.ar](mailto:sleonardi@fiq.unl.edu.ar), Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica, INCAPE (UNL-CONICET), Santa Fe, Argentina

<sup>b</sup> [tivirolijuaniq@gmail.com](mailto:tivirolijuaniq@gmail.com), INCAPE (UNL-CONICET), Santa Fe, Argentina

<sup>c</sup> [vmilt@fiq.unl.edu.ar](mailto:vmilt@fiq.unl.edu.ar), INCAPE (UNL-CONICET), Santa Fe, Argentina

**Palabras clave:** Filtros catalíticos, Fibras recicladas, Bioplantilla, Óxidos de Mn.

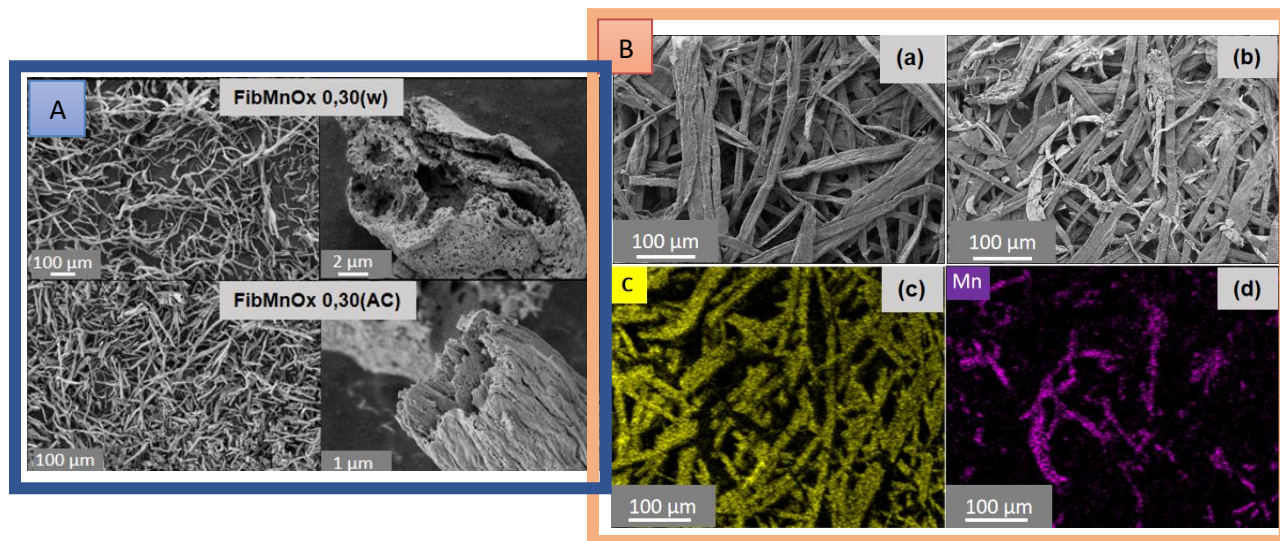
## Resumen

Entre los principales contaminantes emitidos a la atmósfera o en ambientes interiores se encuentran los compuestos orgánicos volátiles (COV's) que son nocivos tanto para el medioambiente como para la salud. Entre los compuestos de mayor toxicidad se encuentra el formaldehído (HCHO), que es uno de los principales contaminantes del aire en ambientes interiores (Lewis C. A. et al., 2023), originado por diversas fuentes tales como materiales para suelos, tableros aglomerados o de fibras de densidad media (MDF) (Salthammer T., et al., 2010). Los procesos para eliminar dichos contaminantes generalmente implican etapas de combustión, para las cuales los óxidos simples y mixtos que contienen metales de transición son reconocidos catalizadores (Zheng J. et al. 2023). En este trabajo se propone sintetizar filtros celulósicos catalíticos, con características fisicoquímicas y mecánicas tales que resulten adaptables a diferentes geometrías de reactores o carcasas, resistentes al flujo de gases y que a su vez permitan la incorporación de catalizadores. Se buscará combinar fibras celulósicas recicladas y fibras biomórficas catalíticas de MnOx, estas últimas obtenidas a partir de una bioplantilla.

La síntesis de fibras biomórficas se lleva a cabo mediante impregnación a humedad incipiente de una solución precursora sobre fibras de algodón comercial. Para esto, se prepararon soluciones acuosas de  $Mn(NO_3)_2$  0,3 M y 0,15 M con ácido cítrico (AC, relación molar Mn/AC= 1:1) y sin ácido cítrico. Luego se impregnaron fibras de algodón comercial a humedad incipiente aplicando vacío. A continuación se secaron a 80°C durante 24 h, y posteriormente se calcinaron en mufla a 600°C durante 5 h. Las fibras así obtenidas se denominaron FibMnOx-Y(S), siendo Y la concentración de la solución precursora (0,3 o 0,15 M) y S el solvente (AC para solución de ácido cítrico y W para agua).

Para la síntesis de filtros catalíticos se pesan 0,4 g de fibras celulósicas recicladas, se hidratan 30 minutos, luego bajo agitación se agrega un 10% de fibras biomórficas, hasta lograr una suspensión uniforme. Para la formación del filtro catalítico, la suspensión se filtra bajo vacío hasta obtener un filtro catalítico de espesor homogéneo. A continuación, se prensa y seca a 25°C. Los filtros obtenidos tienen un diámetro de 7 cm y resultaron manipulables.





**Figura 1.** Micrografías SEM de: (A) Fibras biomórficas elaboradas con diferentes soluciones. B) Filtro celulósico (a) y Filtro catalítico (b). Mapeo por EDS para detección de C (amarillo) (c) y Mn (violeta) (d).

En las micrografías SEM mostradas en la Fig. 1 A se muestra una comparación entre FibMnOx-0,3(W) y FibMnOx-0,3(AC) observándose que las fibras formadas son de mayor longitud cuando el solvente contiene ácido cítrico, además de presentar una estructura porosa más uniforme y poros de un diámetro menor. Por otra parte, mediante un ensayo DRX (no mostrado) se pudo determinar la presencia de fases cristalinas correspondientes a  $Mn_2O_3$  (41-1442 JCPDS) y de  $Mn_3O_4$  (2-1062 JCPDS), en las fibras biomórficas. Una vez conformados los filtros se analizaron mediante SEM y EDS (Fig 1 B) y se pudo observar la diferencia entre el filtro celulósico (Fig. 1-Ba) y el catalítico (Fig. 1-Bb). Para éste último se observa la presencia de los dos tipos de fibras, siendo unas de forma tipo cinta y otras cilíndricas, similares a filamentos. Las primeras corresponden a las fibras celulósicas recicladas mientras que las segundas a las fibras biomórficas sintetizadas. Para la confirmación de esta hipótesis, se realizó un mapeo por EDS con el que se pudo identificar claramente las fibras celulósicas compuestas de C (Fig. 1-Bc) y las fibras biomórficas compuestas de óxidos de Mn (Fig. 1-Bd).

De esta manera se logró obtener filtros catalíticos estructurados utilizando materiales reciclables y brindando una nueva alternativa de utilidad a desechos celulósicos y solventando la necesidad de filtros de aire más accesibles y cuyo funcionamiento requiera un menor costo energético dentro de la industria. Posteriormente se realizarán ensayos de actividad catalítica de oxidación de HCHO para determinar la eficiencia de los filtros obtenidos.

## Referencias:

Lewis C. A., Jenkins D., Whitty C. M. J., (2023). *Nature*, 614, 220-223.

Salthammer T., Mentese S., Marutzky R., (2010). *Chem. Rev.* 110, 2536–2572.

Zheng J., Zhao W., Song L., Wang H., Yan H., Chen G., Han C., Zhang J. (2023). *Green Energy Environ*, 8, 626-653.



## Extracción hidrotermal y conversión catalítica: Puesta en valor de azúcares y polisacáridos del salvado de trigo asistida por $\text{ZrO}_2$ mesoporosa

Lucas E. Retamar<sup>a\*</sup>, Federico A. Piovano<sup>b</sup>, Alicia V. Boix<sup>c</sup>, Soledad G. Aspromonte<sup>d</sup>

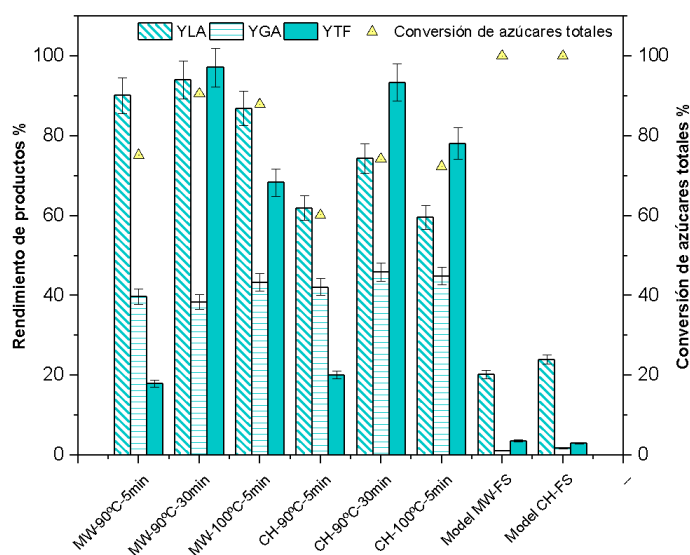
Instituto de Investigación en Catálisis y Petroquímica – INCAPE (FIQ, UNL-CONICET), Santiago del Estero 2829, Santa Fe, 3000, Argentina

<sup>a\*</sup> [lucas.retamar@hotmail.com](mailto:lucas.retamar@hotmail.com), <sup>a\*</sup> [lretamar@fiq.unl.edu.ar](mailto:lretamar@fiq.unl.edu.ar), <sup>b</sup> [fpiovano@fiq.unl.edu.ar](mailto:fpiovano@fiq.unl.edu.ar), <sup>c</sup> [aboix@fiq.unl.edu.ar](mailto:aboix@fiq.unl.edu.ar), <sup>d</sup> [saspromonte@fiq.unl.edu.ar](mailto:saspromonte@fiq.unl.edu.ar)

**Palabras clave:** Glucosa, ácido láctico, ácido glicólico, biomasa

### Resumen

El salvado de trigo (WB) es un residuo agroindustrial abundante, rico en almidón y polisacáridos estructurales, que constituye una materia prima atractiva para aplicaciones de biorrefinería sostenible (Prückler, M et al., 2014). En este trabajo, se propuso una estrategia integrada que combina la extracción hidrotermal suave y la conversión hidrotermal catalítica para promover la recuperación de azúcares a partir de WB sin moler y su posterior transformación en ácidos orgánicos. Se compararon la extracción hidrotermal convencional (HE-CH) y la extracción hidrotermal asistida por microondas (HE-MW) a 80–100 °C y durante 5–30 min. En estas condiciones suaves, se lograron recuperaciones totales de azúcares de hasta 6,45 g/100 g de salvado de trigo (5 min) y 8,71 g/100 g de salvado de trigo (30 min), con un claro predominio de azúcares ligados y una extracción preferencial de fracciones hemicelulósicas (C5), sin formación de productos de degradación. La extracción asistida por microondas mejoró la recuperación y la selectividad de los azúcares al facilitar el acceso a la pared celular del salvado de trigo mediante calentamiento volumétrico y una mayor transferencia de masa. Los extractos líquidos resultantes se convirtieron posteriormente a 180 °C y 40 bar ( $\text{N}_2$ ) utilizando un catalizador de  $\text{ZrO}_2$  mesoporoso hidratado. En ausencia de catalizador, el sistema mostró un comportamiento autotérmico, pero de baja eficiencia ( $X < 20\%$ ). Por el contrario, la conversión catalítica condujo a conversiones totales de azúcares superiores al 75 % a los 90 minutos, con altos rendimientos de ácido láctico y relaciones LA/GA consistentemente superiores a la unidad, particularmente para los extractos derivados de HE-MW.





**Figura 1.** Rendimientos molares de ácido láctico, ácido glicólico y productos furánicos totales, junto con la conversión total de azúcar, obtenidos durante la conversión hidrotermal catalítica de extractos líquidos derivados del salvado de trigo utilizando calentamiento asistido por microondas y calentamiento convencional. Los resultados corresponden a diferentes condiciones de extracción (temperatura y tiempo) y un tiempo de reacción de 90 minutos. A efectos comparativos, también se incluyó una solución modelo basada en el extracto de azúcar libre.

**Tabla 1.** Relación entre los azúcares C6/C5, contenido total, azúcares ligados y azúcares libres obtenidos a 90 °C mediante extracción hidrotermal convencional y extracción hidrotermal asistida por microondas, con tiempos de extracción de 5, 10 y 30 minutos.

| ET <sup>(a)</sup> | Azúcares Totales |                      | Azúcares Ligados |                      | Azúcares Libres |                      |
|-------------------|------------------|----------------------|------------------|----------------------|-----------------|----------------------|
|                   | g/100 g WB       | C6/C5 <sup>(b)</sup> | g/100 g WB       | C6/C5 <sup>(c)</sup> | g/100 g WB      | C6/C5 <sup>(d)</sup> |
| <b>HE-MW</b>      |                  |                      |                  |                      |                 |                      |
| 5                 | 3.87 ± 0.10      | 0.50                 | 3.82 ± 0.05      | 0.49                 | 0.05 ± 0.001    | 1.57                 |
| 10                | 5.00 ± 0.05      | 0.47                 | 4.95 ± 0.03      | 0.47                 | 0.05 ± 0.002    | 1.42                 |
| 30                | 8.71 ± 0.10      | 0.50                 | 8.65 ± 0.05      | 0.49                 | 0.05 ± 0.003    | 1.65                 |
| <b>HE-CH</b>      |                  |                      |                  |                      |                 |                      |
| 5                 | 3.39 ± 0.10      | 0.91                 | 3.33 ± 0.05      | 0.89                 | 0.05 ± 0.002    | 2.83                 |
| 10                | 4.35 ± 0.12      | 0.93                 | 4.30 ± 0.07      | 0.92                 | 0.06 ± 0.003    | 2.62                 |
| 30                | 6.29 ± 0.05      | 0.95                 | 6.23 ± 0.03      | 0.94                 | 0.05 ± 0.002    | 3.11                 |

(a) Tiempos de extracción (min) utilizados a 90 °C (b), (c), (d) Relación entre los azúcares C6/C5 extraídos (total, unido o libre, respectivamente).

## Referencias:

Prückler, M.; Siebenhandl-Ehn, S.; Apprich, S.; Höltinger, S.; Haas, C.; Schmid, E.; Kneifel, W. Wheat bran-based biorefinery 1: Composition of wheat bran and strategies of functionalization. *LWT* **2014**, *56*, 211–221. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.12.004>.



## Remoción de especies metálicas en biodiésel mediante adsorbentes obtenidos a partir de olote.

Henry Steven Catota Sáenz<sup>a</sup>, Hilda Elizabeth Reynel Ávila<sup>b</sup>.

<sup>a</sup> *henrycatota@gmail.com, Instituto Tecnológico de Aguascalientes,*

<sup>b</sup> *elizabethreynel@gmail.com, Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Aguascalientes*

**Palabras clave:** Adsorción, olote, biodiesel, metales

### Resumen

Esta investigación aborda la síntesis, caracterización y evaluación del desempeño de adsorbentes carbonosos obtenidos a partir de olote de maíz, con el propósito de remover las especies metálicas calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) presentes en biodiésel. La presencia de estos metales afecta negativamente la calidad del biocombustible, por lo que su eliminación resulta fundamental para cumplir con estándares internacionales (Tajziehchi & Sadrameli, 2021).

Los adsorbentes fueron sintetizados mediante un proceso combinado de activación química y carbonización hidrotermal. Inicialmente, el precursor lignocelulósico fue impregnado con ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), seguido de un tratamiento de carbonización hidrotermal (HTC), lo que permitió el desarrollo de una estructura porosa y la incorporación de grupos funcionales superficiales favorables para la adsorción de cationes metálicos. Para optimizar las condiciones de síntesis, se implementó un diseño experimental Taguchi L9, considerando cuatro variables de estudio: temperatura de impregnación del  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , concentración del  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , temperatura de carbonización hidrotermal y tiempo de residencia en el proceso HTC. A partir de este análisis, se identificaron las variables más influyentes y las condiciones óptimas de operación, correspondientes a una temperatura de impregnación de 75 °C, una concentración de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  de 2 M, una temperatura de 250 °C y un tiempo de 12 horas en el proceso de HTC (Cárdenas et al., 2025).

Bajo estas condiciones, se obtuvo un adsorbente con capacidades de adsorción de 9.06 mg/g para  $\text{Ca}^{2+}$  y 14.62 mg/g para  $\text{Mg}^{2+}$ , lo que representa un incremento significativo del 87% y 114%, respectivamente, en comparación con el adsorbente obtenido a partir del olote y únicamente mediante carbonización hidrotermal sin activación química. Este resultado evidencia la importancia del tratamiento con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  en la mejora de las propiedades adsorbentes del material.

El estudio cinético de adsorción permitió determinar el tiempo de equilibrio y el mecanismo predominante del proceso. Los datos experimentales fueron ajustados a distintos modelos cinéticos, encontrándose que el modelo de pseudo segundo orden describe adecuadamente el comportamiento del sistema, con coeficientes de determinación ( $R^2$ ) superiores a 0.95 (J. Wang & Guo, 2023). Asimismo, se estableció que el equilibrio de adsorción se alcanza aproximadamente a las 8 horas.

Por otra parte, se evaluó el equilibrio de adsorción mediante isotermas monocomponente a 30 °C y 40 °C. Las capacidades máximas de adsorción obtenidas para ambos iones fueron superiores a 32.76 mg/g, evidenciando el alto potencial del material desarrollado. Los datos experimentales se ajustaron a los modelos de Freundlich, Langmuir y Sips, siendo este último el que presentó el mejor ajuste, con coeficientes de determinación superiores a 0.98 (A. Ma et al., 2020), lo que sugiere un proceso de adsorción heterogéneo con características tanto de monocapa como de multicapas.



La caracterización fisicoquímica de los adsorbentes se llevó a cabo mediante técnicas de difracción de rayos X (XRD), espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y microscopía electrónica de barrido (SEM), permitiendo identificar la estructura, morfología y grupos funcionales responsables del proceso de adsorción.

En conjunto, los resultados obtenidos en esta tesis demuestran que el olote de maíz es un precursor viable para la producción de adsorbentes eficientes y sostenibles, contribuyendo a la valorización de residuos agroindustriales y al desarrollo de alternativas tecnológicas para la purificación de biodiésel en el contexto de la transición energética.

## Referencias:

- Cárdenas-Piñeros, D. E., Reynel-Ávila, H. E., Díaz-Muñoz, L. L., Bonilla-Petriciolet, A., Durán-Valle, C. J., & Adame-Pereira, M. (2025). Purification of Biodiesel Polluted by Copper Using an Activated Carbon Prepared from Spent Coffee Grounds: Adsorption Property Tailoring, Batch and Packed-Bed Studies. *Molecules*, 30(3). <https://doi.org/10.3390/molecules30030483>
- Ma, A., Wang, G., Yang, Z., Bai, L., Chen, H., Wang, W., Yang, H., Wei, D., & Yang, L. (2020). Fabrication of Janus graphene oxide hybrid nanosheets by Pickering emulsion template for self-healing nanocomposite hydrogels. *Chemical Engineering Journal*, 385, 123962. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2019.123962>
- Tajziehchi, K., & Sadrameli, S. M. (2021). Optimization for free glycerol, diglyceride, and triglyceride reduction in biodiesel using ultrafiltration polymeric membrane: Effect of process parameters. *Process Safety and Environmental Protection*, 148, 34–46. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.047>
- Wang, J., & Guo, X. (2023). Adsorption kinetics and isotherm models of heavy metals by various adsorbents: An overview. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 53(21), 1837–1865. <https://doi.org/10.1080/10643389.2023.2221157>



## Biofertilización de *Calendula officinalis*: evaluación del crecimiento y perfilado fitoquímico mediante cromatografía.

Constanza Serrani<sup>1</sup>, Andrea Escalante<sup>1</sup>, Diego Müller<sup>2</sup>, Paula Battocchio<sup>2</sup>, Antonella Febbranti<sup>2</sup>, Pablo García Gimenez<sup>2</sup>, Hector Busilacchi<sup>2</sup>, Ricardo L.E. Furlan<sup>1</sup>, Agustina Fernandez Di Pardo<sup>2</sup>, Ignacio Cabezudo<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Área Farmacognosia, Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas (FBioyF), Universidad Nacional de Rosario (UNR-CONICET, Argentina), contacto [icabezudo@fbioyf.unr.edu.ar](mailto:icabezudo@fbioyf.unr.edu.ar)

<sup>2</sup>Cátedra de Biología, Facultad de Ciencias Agrarias (FCA), Universidad Nacional de Rosario (UNR, Argentina) contacto [hbusilacchi@gmail.com](mailto:hbusilacchi@gmail.com)

**Palabras clave:** Bioinsumos; *Calendula officinalis*; Cromatografía en capa delgada; Bioautografía; Lacasa.

### Resumen

La intensificación agrícola ha derivado en un marcado deterioro de la salud del suelo, comprometiendo la calidad de los cultivos medicinales. Ante este escenario, la valorización de subproductos agroindustriales como suero lácteo, melaza y residuos de molienda emerge como una solución estratégica de economía circular. El empleo de estos residuos para la formulación de bioinsumos permite no solo potenciar la productividad vegetal y la sanidad del agroecosistema sin impactos negativos, sino también promover el desarrollo de consorcios microbianos que mejoran la calidad del suelo (Ncube, 2024). El presente trabajo evaluó el impacto de dos biopreparados derivados de residuos en el rendimiento y perfil metabólico de *Calendula officinalis* L., especie de alto valor por sus propiedades terapéuticas vinculadas a su contenido de fenoles y flavonoides (Shahane et al., 2023).

Se compararon tres esquemas de manejo en condiciones controladas: un tratamiento control (Testigo), riego con biofertilizante FFO al 10% (basado en humus de lombriz, un residuo orgánico estabilizado) y riego con Silo de Microorganismos al 10% (elaborado artesanalmente a partir de la fermentación de hojarasca, suero y melaza). La evaluación agronómica tras la cosecha en estadio de floración determinó que el tratamiento FFO mostró una superioridad estadística significativa en la acumulación de biomasa, alcanzando un rendimiento de 13 g de capítulo floral, frente a los 8 g del Testigo y los 5 g del Silo. Este último resultado es indicativo de un marcado estrés abiótico generado por las condiciones de la enmienda en la planta, lo cual se manifestó además en la pérdida de unidades experimentales (10%).

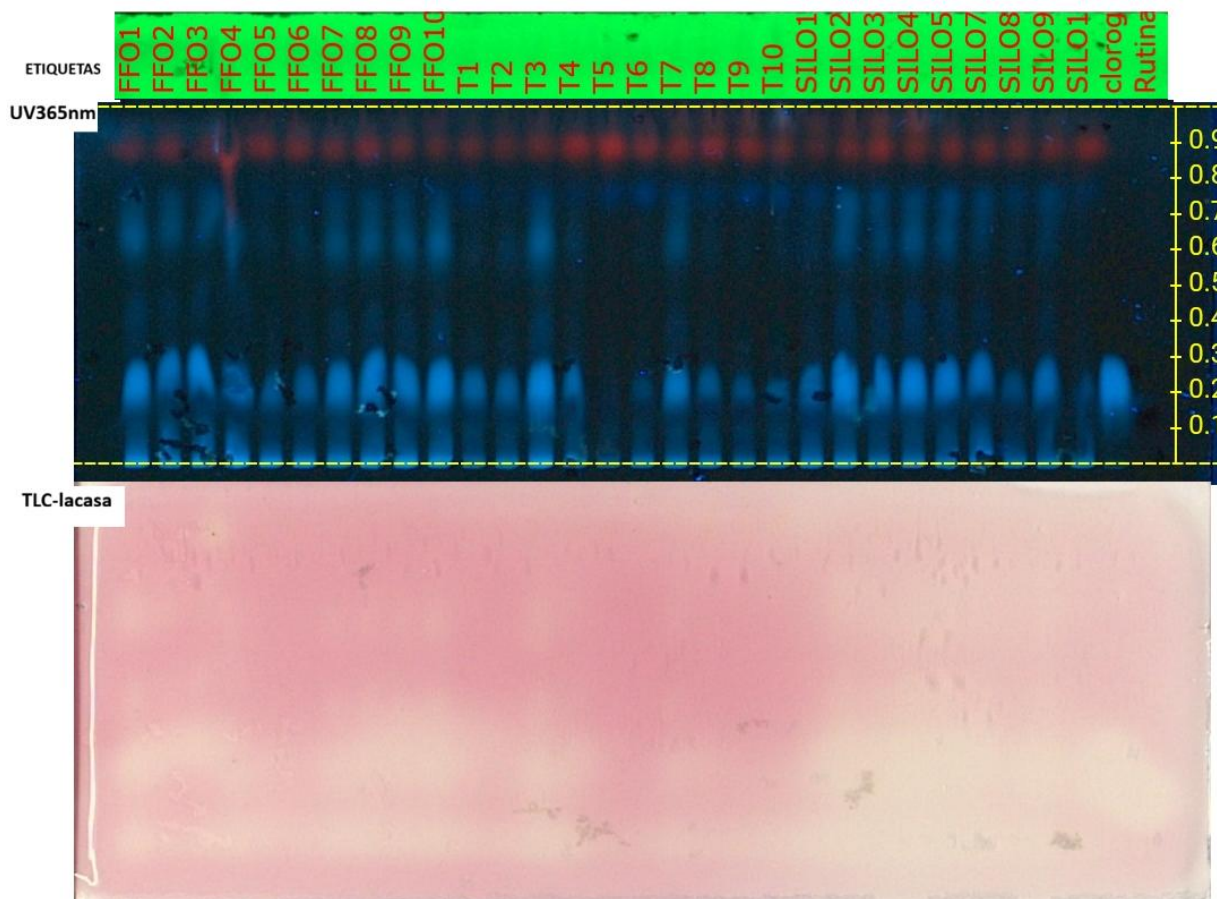
Para el análisis químico, se realizó una extracción hidroalcohólica a microescala empleando un multirreactor para garantizar la reproducibilidad. La caracterización se llevó a cabo mediante cromatografía de capa delgada de alta resolución (HPTLC). Para la detección dirigida de inhibidores, se empleó la técnica de bioautografía por *agar overlay*. Tras el desarrollo cromatográfico, la placa se cubrió con una fina capa de agar conteniendo enzima lacasa y el sustrato siringaldazina (SGZ) en buffer acetato (Cabezudo & L. E. Furlan, 2024). Los resultados revelaron halos de inhibición nítidos sobre el fondo rosa del producto de oxidación. El principal foco de actividad se asoció al ácido clorogénico ( $R_f$  0.21), detectándose además una banda secundaria de inhibición en  $R_f$  0.66, compatible de acuerdo a su visualización UV (antes y después de revelado con NP-PEG, adecuado para detectar flavonoides) con otros derivados del ácido hidroxycinámico. Asimismo, se observaron zonas de inhibición en el punto de siembra, indicativas de mezclas complejas, sin separación cromatográfica. Este fenómeno podría sugerir un mecanismo donde la oxidación del ácido clorogénico puede generar *o*-quinonas reactivas que inactivan la enzima.

Si bien el tratamiento Silo redujo el crecimiento primario de capítulos florales, actuó como un potente elicitor, modulando hacia la síntesis de metabolitos secundarios protectores. Esto demuestra que la





valorización de residuos en bioinsumos permite priorizar el rendimiento en biomasa (FFO) o la bioactividad sobre lacasa (Silo), consolidando una herramienta de manejo sostenible basada en perfil fotoquímico.



**Figura 1. Perfil cromatográfico HPTLC y ensayo de bioactividad *in situ* (Lacasa/SZ).** En el margen superior se detallan las 31 calles: 1-10 (FFO, 10 muestras), 11-20 (Testigo, 10 muestras), 21-29 (Silo, 9 muestras), 30-31 (Estándares). Se destacan halos blancos de inhibición correspondientes al ácido clorogénico (Rf 0.21) y una banda secundaria (Rf 0.66).

## Referencias

Cabezudo, I., & L. E. Furlan, R. (2024). Thin layer chromatography assay to detect laccase inhibitors. *Food Chemistry*, 460, 140583. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140583>

Ncube, L. (2024). Effective microorganisms (EM): A potential pathway for enhancing soil quality and agricultural sustainability in Africa. En *Strategic Tillage and Soil Management-New Perspectives*. IntechOpen. <https://www.intechopen.com/chapters/88925>

Shahane, K., Kshirsagar, M., Tambe, S., Jain, D., Rout, S., Ferreira, M. K. M., Mali, S., Amin, P., Srivastav, P. P., & Cruz, J. (2023). An updated review on the multifaceted therapeutic potential of *Calendula officinalis* L. *Pharmaceuticals*, 16(4), 611.



## Valorización de eritritol con catalizadores de Ru soportados en $\text{TiO}_2$

Emanuel M. Virgilio<sup>a,\*</sup>, Cristina L. Padro<sup>b</sup>, María E. Sad<sup>c</sup>

<sup>a</sup> [evirgilio@fiq.unl.edu.ar](mailto:evirgilio@fiq.unl.edu.ar), GICIC – INCAPE - CONICET, Santa Fe (Argentina)

<sup>b</sup> [cpadro@fiq.unl.edu.ar](mailto:cpadro@fiq.unl.edu.ar), GICIC – INCAPE - CONICET, Santa Fe (Argentina)

<sup>c</sup> [mesad@fiq.unl.edu.ar](mailto:mesad@fiq.unl.edu.ar), GICIC – INCAPE - CONICET, Santa Fe (Argentina)

**Palabras clave:** Hidrogenólisis, Rutenio, Polioles, Valorización biomasa

### Resumen

La valorización catalítica de compuestos derivados de biomasa constituye una estrategia clave para el desarrollo de procesos químicos más sostenibles. El eritritol (ERY) es un derivado de la biomasa lignocelulósica, el cual puede ser transformado en butanodiol (BDO), compuestos de gran interés industrial utilizados en la producción de polímeros, solventes y elastómeros. Es por ello que la C-O hidrogenólisis selectiva resulta fundamental para eliminar átomos de O en moléculas orgánicas sin romper la cadena carbonada. Sin embargo, los catalizadores metálicos usualmente empleados también promueven rupturas competitivas como la de enlaces C-C.

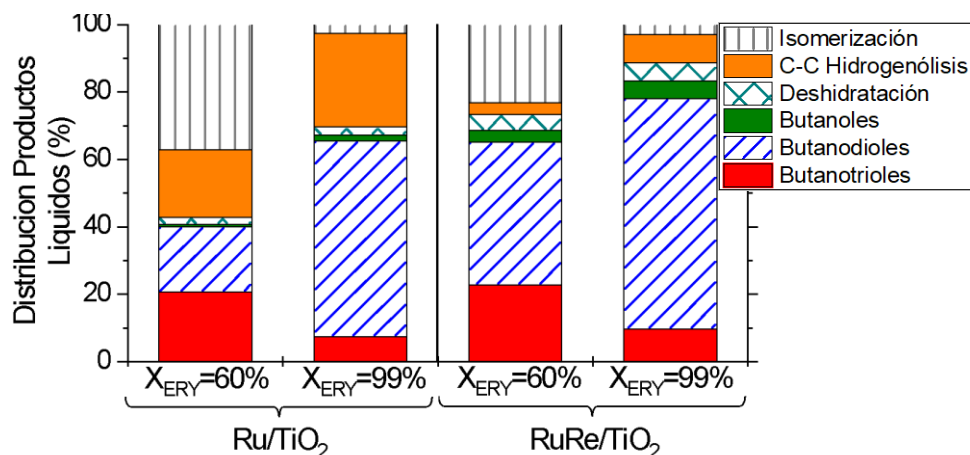
Se ha demostrado que catalizadores basados en metales nobles (como Ir, Rh o Pt) modificados con un promotor oxofílico ( $\text{ReO}_x$  o  $\text{MoO}_x$ ) pueden mejorar la selectividad hacia C-O hidrogenólisis (Tomishige, 2020). En este trabajo se analiza el comportamiento catalítico de  $\text{Ru}/\text{TiO}_2$  y su modificación con Re ( $\text{RuRe}/\text{TiO}_2$ ) en la hidrogenólisis de eritritol en fase acuosa.

Los catalizadores fueron preparados por impregnación a humedad incipiente utilizando  $\text{TiO}_2$  como soporte y se caracterizaron mediante numerosas técnicas (fisisorción de  $\text{N}_2$ , DRX, quimisorción de CO, TEM, XPS, TPR y TPD- $\text{NH}_3$ ). Las reacciones se llevaron a cabo en un reactor slurry a 473 K y 25 bar de  $\text{H}_2$  alimentando una solución acuosa de eritritol (0,4 M). Se tomaron muestras líquidas a distintos tiempos que fueron analizadas por HPLC para determinar la evolución temporal de la conversión del reactivo y la formación de productos.

Las posibles rutas de conversión de ERY en presencia de  $\text{H}_2$  y catalizador incluyen isomerización para formar treitol, deshidratación para formar mayoritariamente 1,4-anhidroeritritol, C-C hidrogenólisis y C-O hidrogenólisis, este último conduce a la formación de butanotrioles (BTO), posteriormente a BDO y finalmente butanoles (Virgilio, 2023).

La **Figura 1** muestra la distribución de productos para dos conversiones de ERY al emplear catalizadores basados en Ru o RuRe en idénticas condiciones de reacción. Se observa que la incorporación de especies de Re modifica notablemente la selectividad favoreciendo la C-O hidrogenólisis (BTO+BDO+butanol) y disminuyendo la ruta competitiva que forma productos de menor número de átomos de carbono. En ambos casos la deshidratación no fue favorecida y la isomerización reversible a treitol es sólo significativa a bajas conversiones.





**Figura 1.** Distribución productos para  $X=60\%$  y  $X=99\%$  para Ru y RuRe sobre TiO<sub>2</sub>.

En la **Tabla 1** se muestran algunas características de los catalizadores, el rendimiento máximo obtenido hacia BDO y el tiempo al que se obtiene. La relación molar Re/Ru en el sólido bimetalico fue 0,9 y se observa una mínima disminución de la  $S_g$  por el agregado de Re. Los tamaños de partículas determinados por TEM muestran una ligera disminución de tamaño para Ru/TiO<sub>2</sub> (2,4 nm) comparado con RuRe/TiO<sub>2</sub> (2,8 nm). Resultados de XPS permitieron identificar que el Ru se encuentra mayormente como Ru<sup>0</sup> mientras que el Re se encuentra principalmente como Re<sup>+4</sup>.

Si bien el catalizador Ru/TiO<sub>2</sub> fue más activo alcanzando  $X=100\%$  luego de 14 h de reacción, se observó una mayor selectividad hacia productos de C-C hidrogenólisis y un menor balance de carbono debido a que algunos productos se transfieren a la fase gaseosa. El catalizador RuRe/TiO<sub>2</sub> permitió obtener un mayor rendimiento hacia los productos de interés (BDO) alcanzado un 55% luego de 22 h. Por lo tanto, la presencia de especies ReO<sub>x</sub> (mayoritariamente Re<sup>+4</sup>) en íntimo contacto con especies Ru metálico favorece la C-O hidrogenólisis iniciada por una adsorción del ERY en sitios Re-OH próximos a Ru<sup>0</sup>, el cual activa al H<sub>2</sub>.

El catalizador bimetalico fue sometido a tres ciclos de reuso manteniendo la actividad en cuanto a conversión de ERY y selectividad a BTO y BDO (Virgilio, 2023). Además, para reutilizar el catalizador este solo debe ser filtrado, secado y reducido, añadiendo ventajas para su utilización. La estabilidad del sistema, la robustez en la preparación, el alto rendimiento y el uso de Ru relativamente económico posiciona a este catalizador como una alternativa prometedora para la valorización catalítica de polioles derivados de biomasa.

**Tabla 1.** Resultados de caracterización de catalizadores y máximo rendimiento obtenido a BDO.

| Catalizador           | C <sub>Ru</sub> (%P/P) | Re/Ru | S <sub>g</sub> (m <sup>2</sup> /g) | d <sub>TEM</sub> (nm) | X <sub>ERY</sub> (%) | η <sub>BDO</sub> (%) |
|-----------------------|------------------------|-------|------------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Ru/TiO <sub>2</sub>   | 2.15                   | -     | 49.8                               | 2.4                   | 100 (14 h)           | 37.6 (14 h)          |
| RuRe/TiO <sub>2</sub> | 2.15                   | 0.9   | 46.5                               | 2.8                   | 100 (22 h)           | 55.0 (22 h)          |

## Referencias:

Virgilio, E. M., Padró, C. L., & Sad, M. E. (2023). Ru/ReO<sub>x</sub>/TiO<sub>2</sub> selective and reusable catalyst for C-O hydrogenolysis of C<sub>4</sub> polyols. *ChemCatChem*, 15, e202201618. <https://doi.org/10.1002/cctc.202201618>

Tomishige, K., Nakagawa, Y., & Tamura, M. (2020). Design of supported metal catalysts modified with metal oxides for hydrodeoxygenation of biomass-related molecules. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 22, 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2019.11.003>



# Pirólisis de residuos lignocelulósicos: comparación entre bagazo de malta cervecera, residuos de poda y biomasa leñosa.

María V. Toledo<sup>a\*</sup>, Sofia Sampaolesi<sup>a</sup>, Juan J. Musci<sup>b</sup>, Ileana D. Lick<sup>a</sup>, Monica L. Casella<sup>a</sup>, Laura E. Briand<sup>a</sup>.

<sup>a</sup> toledovictoria@gmail.com; sampaolesi@quimica.unlp.edu.ar; illick@quimica.unlp.edu.ar; casella@quimica.unlp.edu.ar; briand@quimica.unlp.edu.ar. CINDECA, CCT-La Plata-CONICET, UNLP, CICPBA, La Plata.

<sup>b</sup> jjmusci@comunidad.unnpba.edu.ar, CITNOBA, UNNOBA, UNSAdA, CONICET, Pergamino.

**Palabras clave:** pirólisis, biomasa, biolíquido, residuos lignocelulósicos

## Resumen

Este estudio explora el potencial de diversos residuos lignocelulósicos urbanos e industriales —bagazo de malta cervecera (BMC), aserrín de eucalipto (AE), aserrín de sauce y álamo (ASA) y residuos de poda urbana (RPU)— para generar subproductos de alto valor mediante pirólisis no catalítica. Se realizó un análisis proximal y químico de las biomásas siguiendo normas ASTM y NREL (Coronado et al, 2020) para determinar su contenido de humedad (H %), extractables acuosos y orgánicos (EA% y EO%, respectivamente), celulosa (Cel%), lignina (Lig%) y holocelulosa (Holo%) (Tabla 1). Esta caracterización inicial reveló que el AE posee el mayor contenido de holocelulosa y lignina. Por otro lado, el BMC destaca por contener la menor cantidad de lignina, que es la principal barrera para la descomposición de la biomasa. Además, si bien en términos de porcentaje de biomasa total la holocelulosa en el BSG es la más baja (lo que se relaciona con su alto contenido de humedad), este residuo resulta prometedor para la obtención de azúcares mediante degradación debido a la biodisponibilidad de celulosa y hemicelulosa.

**Tabla 1.** Composición lignocelulósica de BMC, AE, ASA y RPU (base seca).

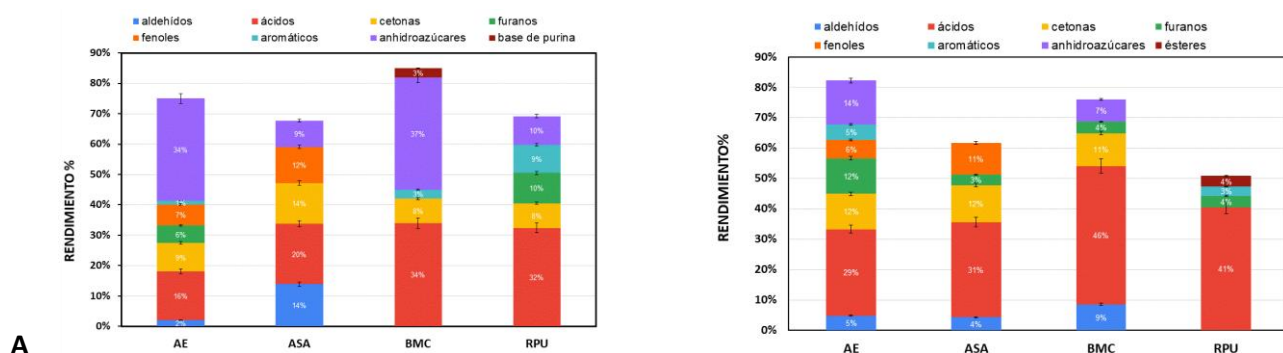
| Biomasa<br>a | H%         | EA%        | EO%         | Lig%      | Cel%       | Holo%  |
|--------------|------------|------------|-------------|-----------|------------|--------|
| BMC          | 74,2 ± 0,4 | 9,2 ± 0,1  | 1,24 ± 0,01 | 4,6 ± 0,5 | 7,2 ± 0,5  | 14 ± 1 |
| AE           | 13,8 ± 0,8 | 15 ± 1     | 0,36 ± 0,04 | 20 ± 1    | 44,6 ± 0,7 | 54 ± 4 |
| ASA          | 51 ± 3     | 6,4 ± 0,8  | 0,23 ± 0,03 | 14 ± 2    | 27,7 ± 0,1 | 36 ± 2 |
| RPU          | 48 ± 3     | 19,4 ± 0,4 | 1,8 ± 0,1   | 10 ± 3    | 14         | 20 ± 2 |

Mediante análisis termogravimétrico acoplado a espectroscopia infrarroja TGA-FTIR (datos no mostrados), se determinó que una temperatura de 450 °C permite una degradación eficiente de los extractables, celulosa y hemicelulosa, evitando la descomposición significativa de la lignina refractaria. Por lo tanto, esta temperatura fue la seleccionada para llevar a cabo los ensayos de pirólisis en un reactor de lecho fijo con un flujo de nitrógeno de 200 mL min<sup>-1</sup> (Musci et al, 2022). Los resultados muestran que los rendimientos de biolíquidos oscilaron entre el 14% y 41%, donde mayor rendimiento se encontró para AE, que presentó el menor rendimiento a la fracción gaseosa osciló entre (28%) y las restantes generaron ~ 37%. El mayor rendimiento a biocarbón (39%) se encontró para la muestra de RPU. Si bien estos rendimientos de bio-





líquidos son inferiores a los reportados en literatura (Mendoza-Martínez et al, 2023), nuestros resultados demuestran la viabilidad de procesar biomásas en condiciones más sencillas, logrando productos de mayor valor agregado. El análisis por GC-MS de biolíquidos y ceras se presenta en la Figura 1. El análisis de las ceras evidenció la obtención en gran proporción de ácidos carboxílicos, siendo el ácido acético el principal en AE, ASA y RPU. La composición obtenida para las ceras de BMC es diferente, siendo prioritarios lípidos y ácidos grasos de cadena larga como el ácido pentadecanoico. Este resultado está directamente relacionado con la composición de los sustratos de partida e impacta en el poder calorífico superior (HHV). El valor calculado para las ceras de BMC ( $31,68 \text{ MJ kg}^{-1}$ ) resulta consistente con los hallazgos de García-Pérez et al. (2007), quienes reportaron hasta  $42,4 \text{ MJ kg}^{-1}$  en fracciones lipídicas de biomásas leñosas, posicionando a estas ceras como potenciales fuentes de energía.



**Figura 1.** Distribución de grupos funcionales orgánicos obtenidos por GC-MS de los biolíquidos (A) y las ceras (B) en relación al tipo de biomasa. Se evidenció la generación entre un 7 y 12% de compuestos fenólicos tras la pirólisis de AE y ASA. En contraste, BMC posee principalmente ácidos y anhidroazúcares.

Según los resultados presentados en este trabajo, la pirólisis sería una ruta viable para convertir estos residuos en plataformas químicas y recursos energéticos, cuya calidad depende estrechamente de las características de la biomasa de partida.

## Referencias

- Coronado, M. A., Montero, G., Montes, D. G., Valdez-Salas, B., Ayala, J. R., García, C., Carrillo, M., León, J. A., Moreno, A. (2020). *Sustainability*, 12, 7744. <https://doi.org/10.3390/su12187744>.
- García-Pérez, M., Chaala, A., Pakdel, H., Kretschmer, D., Roy, C. (2007) *Pyrolysis* 104-116, <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2006.05.003>.
- Mendoza-Martínez, C., Sermyagina, E., Saari, J., Faria Ramos, V., Vakkilainen, E., Cardoso, M., Alves Rocha, E.P. (2023) *Energy*, 263, 126076, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126076>.
- Musci, J. J., Casoni, A. I., Gutierrez, V. S., Ocsachoque, M. A., Merlo, A. B., Volpe, M. A., Lick, I. D., Casella, M.L. (2022) *Chemistry Select*, 7 (1 of 10), e202202233, <https://doi.org/10.1002/slct.202202233>.



## Valorización de biomásas locales mediante celulastas derivadas de hongos nativos.

Sofía Sampaolesi<sup>a\*</sup>, Carlos R. Llerena-Suster<sup>b</sup>, Laura E. Briand<sup>a</sup>, María V. Toledo<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> sampaolesi@quimica.unlp.edu.ar; briand@quimica.unlp.edu.ar; toledovictoria@gmail.com; CINDECA, CCT-La Plata-CONICET, UNLP, CICPBA, La Plata.

<sup>b</sup> cllerena@quimica.unlp.edu.ar, CIPROVE, UNLP, La Plata, La Plata (Argentina)

**Palabras clave:** biomásas, celulastas, hongos nativos

### Resumen

El crecimiento de los sectores urbano y agroindustrial en la región de La Plata produce volúmenes significativos de desechos lignocelulósicos, destacándose los residuos de poda, frutihortícolas y el bagazo cervicero. Debido a su contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa, estos materiales representan recursos estratégicos en procesos de biorrefinería (Sampaolesi et al, 2023). Su valorización requiere la deconstrucción en azúcares reductores mediante pretratamiento fisicoquímico e hidrólisis enzimática. En este contexto, el aislamiento de microorganismos nativos con capacidades celulolíticas podría derivar en la obtención de cócteles enzimáticos más eficientes y adaptados a las biomásas locales que las alternativas comerciales. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es establecer las bases para bioprocesos sustentables que aprovechen estas biomásas autóctonas mediante la evaluación del potencial celulolítico de hongos locales.

Se caracterizó la composición de residuos tales como el bagazo de malta cervicera (BMC), aserrín de *Eucalyptus* (AE), aserrín de sauce y álamo (ASA) y residuo de poda urbana (RPU) siguiendo protocolos estandarizados (Coronado et al, 2020). Para los ensayos biológicos, se cultivaron las cepas nativas *Coriopsis rigida* CLPS#232 y *Ulocladium botrytis* CLPS#813 en agar extracto de malta durante 7 días a 30 °C para obtener pre-inóculos. Luego, se inocularon duplicados en medio mínimo salino con carboximetilcelulosa (CMC) o los residuos BMC, AE, ASA y RPU como única fuente de carbono durante 14 días a 30 °C. La actividad endo- $\beta$ -1,4-glucanasa de cada sobrenadante se determinó por duplicado a 50 °C sobre CMC y las biomásas como sustratos, cuantificando azúcares reductores mediante el método del ácido dinitrosalicílico (DNS). Los resultados (Tabla 1) evidenciaron que los sobrenadantes de *U. botrytis* CLPS#813 y *C. rigida* CLPS#232 hidrolizaron residuos sin tratamiento previo, a pesar de su complejidad estructural (superior al modelo CMC, el cual no fue hidrolizado) y de contener lignina, polímero recalcitrante al ataque enzimático. BMC y RPU, al poseer menor contenido de lignina, resultaron ser los sustratos más vulnerables al ataque enzimático, liberando mayor concentración de azúcares (Tabla 1). *C. rigida* #232 cultivada en BMC, AE y ASA mostró una actividad BMCasa superior a *U. botrytis*, en algunos casos duplicando su valor (AE), posicionándola como la cepa más idónea para valorizar el bagazo cervicero.

**Tabla 1.** Actividad endoglucanasa y  $\beta$ -glucosidasa de cultivos de *C. rigida* y *U. botrytis* sobre biomásas.

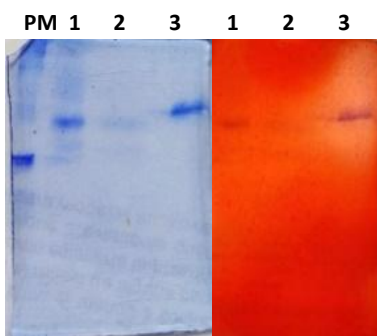
| Actividad        | <i>C. rigida</i> CLPS#232 |         |     |         |      | <i>U. botrytis</i> CLPS#813 |     |      |       |
|------------------|---------------------------|---------|-----|---------|------|-----------------------------|-----|------|-------|
|                  | FCMC*1                    | BM<br>C | AE  | AS<br>A | RPU  | BMC                         | AE  | ASA  | RPU   |
| CMC <sup>a</sup> |                           | 0       | 0   | 0       | 0    | 0                           | 0   | 0    | 0     |
|                  |                           | 26      | 54  | 32      | 272, | 191,                        | 24  | 258, |       |
| BMC <sup>a</sup> |                           | 6,1     | 4,3 | 3,8     | 3    | 1                           | 3,3 | 4    | 295,7 |



|                                   |             |             |            |             |             |            |             |              |
|-----------------------------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| <b>AEasa*<sup>2</sup></b>         | <b>99,7</b> | <b>60,3</b> | <b>0</b>   | <b>56,4</b> | <b>71,4</b> | <b>56</b>  | <b>0</b>    | <b>0</b>     |
| <b>ASAsa*<sup>2</sup></b>         | <b>0</b>    | <b>0</b>    | <b>0</b>   | <b>0</b>    | <b>0</b>    | <b>0</b>   | <b>0</b>    | <b>0</b>     |
| <b>RPUsa*<sup>2</sup></b>         | <b>24</b>   | <b>23</b>   | <b>18</b>  | <b>257,</b> | <b>267,</b> | <b>21</b>  | <b>170,</b> |              |
| <b>β-glucosidasa*<sup>3</sup></b> | <b>9,8</b>  | <b>1,4</b>  | <b>8,5</b> | <b>2</b>    | <b>7</b>    | <b>9,7</b> | <b>2</b>    | <b>273,5</b> |
|                                   | <b>38,</b>  | <b>29,</b>  | <b>17,</b> |             | <b>178,</b> | <b>15</b>  |             |              |
|                                   | <b>6</b>    | <b>1</b>    | <b>9</b>   | <b>0</b>    | <b>9</b>    | <b>4,6</b> | <b>161</b>  | <b>197,5</b> |

\*<sup>1</sup>FCMC: Fuente de carbono del medio de cultivo; \*<sup>2</sup> mg glucosa L<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>; \*<sup>3</sup> μmol NF L<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>

Adicionalmente, se realizaron zimogramas en geles con CMC 0,2%, con tinciones secuenciales con azul R-250 y rojo Congo para visualizar la presencia de proteínas y detectar actividad endoglucanasa específica en sobrenadantes concentrados. El análisis confirmó que la cepa #232 secreta endoglucanasas de peso molecular comparable a la banda principal del estándar Celluclast, identificando al BMC como un inductor de secreción más eficaz que el ASA (Fig. 1).



**Figura 1.** SDS-PAGE celulasas comerciales y hongos nativos. Izq: revelado azul R-250. Der: revelado con rojo Congo. Calle 1 y 2: *C. rigida* CLPS#232 en BMC y ASA. Calle 3: *Celluclast*.

Por último, se midió la actividad β-glucosidasa (duplicado), determinando la liberación de p-nitrofenol a partir de p-nitrofenil-β-D-glucopiranosido (pNGP). En este caso, sólo *U. botrytis* #813 presentó niveles de actividad relevantes, sugiriendo que combinar cócteles fúngicos potenciaría la deconstrucción de las biomásas (Tabla 1).

Los resultados obtenidos en este trabajo refuerzan la importancia de investigar las capacidades celulolíticas de microorganismos locales como eje fundamental para el desarrollo de biorrefinerías aplicadas a residuos regionales.

## Referencias:

Coronado, M. A., Montero, G., Montes, D. G., Valdez-Salas, B., Ayala, J. R., García, C., Carrillo, M., León, J. A., Moreno, A. (2020). *Sustainability*, 12, 7744. <https://doi.org/10.3390/su12187744>.

Sampaolesi, S., Briand, L. E., Saparrat, M. C. N., Toledo, M. V. (2023). *Sustainability*, 15, 8343. <https://doi.org/10.3390/su15108343>.



# Estudio de la utilización de Eversa® Transform en la hidrólisis de aceite vegetal usado

Paula S. Mateos<sup>a</sup>, Agustín Ponzinibbio<sup>b</sup>, Laura E. Briand<sup>c</sup>

<sup>a</sup> stefaniamateos@quimica.unlp.edu.ar, Centro de Investigación en Ciencias Aplicadas “Dr. Jorge J. Ronco” (CINDECA), La Plata, Argentina.

<sup>b</sup> ponzinibbio@quimica.unlp.edu.ar, Centro de Estudio de Compuestos Orgánicos (CEDECOR), La Plata, Argentina.

<sup>c</sup> briand@quimica.unlp.edu.ar, Centro de Investigación en Ciencias Aplicadas “Dr. Jorge J. Ronco” (CINDECA), La Plata, Argentina.

**Palabras clave:** Eversa® Transform, lipasa, hidrólisis, aceite vegetal usado

## Resumen

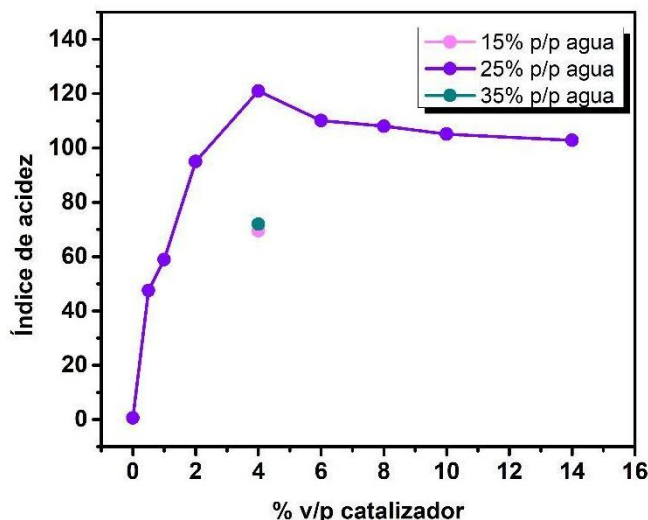
A fin de revalorizar el aceite usado en cocción, que genera contaminación si no se descarta de manera adecuada, se ha investigado la hidrólisis del mismo para obtener ácidos grasos libres (AGL), los cuales tienen múltiples aplicaciones en la industria. Para ello se pueden usar catalizadores enzimáticos, cuya actividad no se ve perjudicada por la presencia de agua ni de ácidos grasos libres (José *et al.*, 2013). El biocatalizador comercial Eversa® Transform, que contiene la lipasa fúngica *Thermomyces lanuginosus*, ha mostrado actividad en la hidrólisis de aceite, pero la escasa información sobre las condiciones más adecuadas para esta reacción ha motivado el presente estudio (Mateos *et al.*, 2023; Su *et al.*, 2018; Alexandre *et al.*, 2022).

Con la finalidad de encontrar las condiciones óptimas para la hidrólisis de aceite de girasol usado en cocción utilizando el biocatalizador Eversa® Transform, se investigó el efecto de la cantidad de catalizador, de agua agregada y tiempo de reacción. Para ello se agregaron 20 g de aceite en un balón, provisto con un refrigerante, se colocó en un baño de glicerina calefaccionado a 40°C con una agitación magnética de 500 rpm y se llevó a cabo la reacción en diversas condiciones. Luego de cada hidrólisis se centrifugaron los medios de reacción para separar las fases y se determinó el índice de acidez de las fases oleosas siguiendo la Norma Europea EN 14104.

Al determinar los índices de acidez de las fases oleosas se encontró que se formó una mayor cantidad de AGL al utilizar un 4% v/p de catalizador, 25% p/p de agua y 4 horas de reacción, a 40°C con una agitación magnética de 500 rpm, alcanzando un índice de acidez de 120, como se ve en la Figura 1. Asimismo, se llevó a cabo la reacción en estas condiciones a distintos tiempos de reacción (4, 6, 8, 16 y 24 horas) y se observó una leve disminución del índice de acidez al superar las 4 horas.







**Figura 1.** Índice de acidez luego de la hidrólisis de 20 g de aceite usado en cocción al utilizar distintas cantidades de catalizador y de agua agregada, a 40°C, 500 rpm y 4 horas de reacción.

La conversión obtenida fue del 95,5% mientras que el rendimiento a ácidos grasos libres fue del 66,7%, lo cual podría deberse a la regioselectividad de la lipasa hacia las posiciones sn-1 y sn-3 de los triglicéridos. La actividad enzimática específica en estas condiciones fue de 217,3  $\mu\text{mol/mg.h}$ .

Al analizar el espectro de RMN  $^1\text{H}$  de la fase oleosa luego de la hidrólisis que dio un mayor índice de acidez se observó que el mismo presenta las señales características de los ácidos grasos insaturados ( $\delta = 2,061$ ; 2,361; 2,789 y 5,361 ppm) y ausencia de una señal correspondiente al ácido linolénico (0,97 ppm), lo que indicaría la presencia de los ácidos oleico y linoleico en la fase oleosa luego de la hidrólisis (Siudem *et al.*, 2022).

A partir de este trabajo se determinó que el aceite de girasol usado en cocción puede ser revalorizado mediante una hidrólisis utilizando Eversa® Transform y las condiciones óptimas son 4% v/v de biocatalizador, 25% p/p de agua agregada y 4 horas de reacción a 40°C y una agitación de 500 rpm, obteniéndose una conversión del 95,5% y un rendimiento a ácidos grasos del 66,7%.

## Referencias:

- Alexandre, J. Y. N. H., Cavalcante, F. T. T., Freitas, L. M., Castro, A. P., Borges, P. T., de Sousa Junior, P. G., Filho, M. N. R., Lopes, A. A. S., da Fonseca, A. M., Lomonaco, D., de Sousa Rios, M. A., Sousa dos Santos, J. C. (2022). *Catalysts* 12, 1322. <https://doi.org/10.3390/catal12111322>
- José, C., Austic, G. B., Bonetto, R. D., Burton, R. M., Briand, L. E. (2013). *Catal. Today* 213, 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2013.02.013>
- Mateos, P. S., Casella, M. L., Briand, L. E., Matkovic, S. R. (2023). *JAACS* 100, 287-301. <https://doi.org/10.1002/aocs.12683>
- Siudem, P., Zielińska, A., Paradowska, K. (2022). *J. Pharm. Biomed. Anal.* 212, 114658. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2022.114658>
- Su, C. H., Nguyen, H. C., Nguyen, M. L., Tran, P. T., Wang, F. M., Guan, Y. L. (2018). *Biotechnol Prog.* 34, 1129-1136. <https://doi.org/10.1002/btpr.2714>



## Desarrollo de materiales adsorbentes a partir de biomasa residual olivícola para la eliminación de arsénico.

Angélica C. Heredia<sup>a\*</sup>, Evelin L. Savarino<sup>b</sup>, L. Catalina Cabana Saavedra<sup>b</sup>, Nancy F. Bálsamo<sup>b</sup>.

<sup>a</sup> [angelicacheredia@gmail.com](mailto:angelicacheredia@gmail.com), Dpto de Materias Básicas, GAIA, Universidad Tecnológica Nacional (UTN – FRLR), La Rioja, (Argentina).

<sup>b</sup> Centro de Investigación y Tecnología Química (CITeQ) - CONICET, Universidad Tecnológica Nacional (UTN – FRC), Córdoba, (Argentina).

**Palabras clave:** Biocarbón de huesos de aceitunas, Arsénico, Remoción.

### Resumen

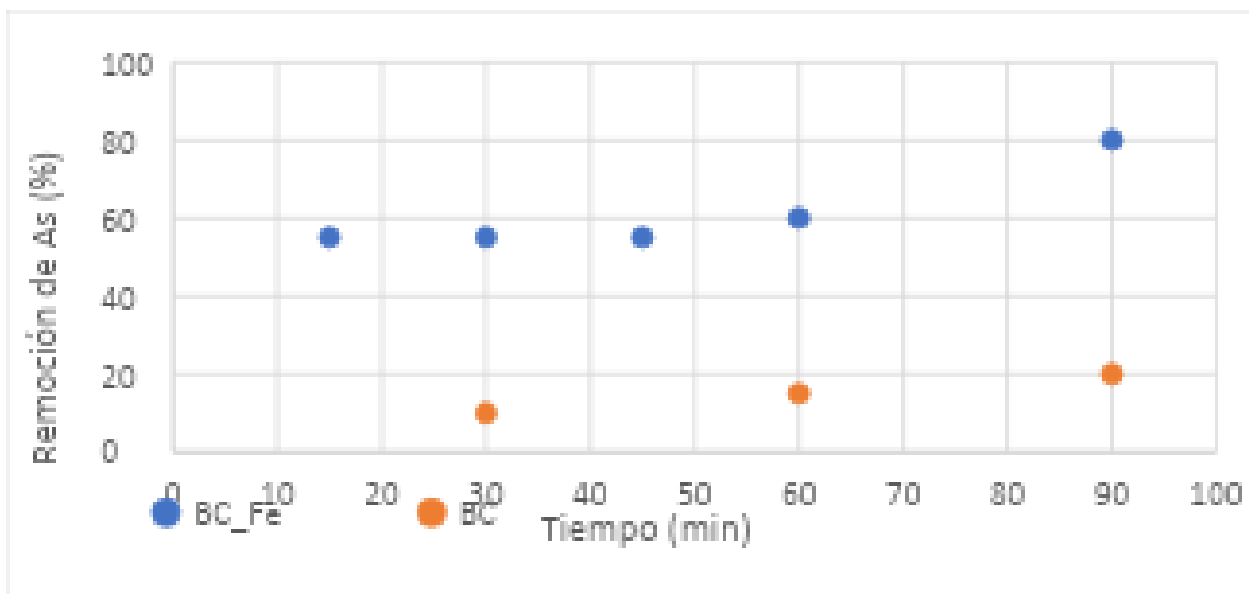
La biomasa residual de la industria de conservas de aceitunas genera un impacto ambiental negativo si no se buscan alternativas de reutilización y valorización (Ezzahi et al., 2026). La pirólisis de biomasa proporciona un enfoque sostenible para la gestión de residuos y un material ecológico de bajo costo, útil para la remediación de suelos y aguas. En este trabajo se estudia la capacidad adsorbente de biocarbones modificados, producidos por pirólisis de huesos de aceitunas, en la remoción del arsénico de matrices acuosas.

Los huesos de aceituna utilizados en este estudio se obtuvieron de una industria olivícola en el noroeste de Córdoba, Argentina. Se tomó una muestra de biomasa residual estacional, huesos con pulpa, proveniente del proceso de deshuesado. La biomasa secada a 100 °C por 2 h se separó en pulpa y hueso. Este último se trató en un molino de rodillos para realizar luego la separación del embrión o semilla del endocarpio y, posteriormente, se completó la trituration en un molino de martillos. A continuación, la biomasa se secó nuevamente a 100 °C durante 2 h. El hueso de aceituna seco y triturado se sometió a una extracción Soxhlet de la fase lipídica durante 12 h con n-hexano, y este producto se denominó como BC.

El material BC se sometió a activación con FeCl<sub>3</sub> para evaluar los cambios en las propiedades adsorbentes. Una solución 63% P/P de FeCl<sub>3</sub> (p.a., Biopack) con agua desionizada fue utilizada en la impregnación del metal en una muestra de BC mediante agitación magnética por 3 h y posterior lavado con agua desionizada. Este material se denominó BC\_Fe. Los materiales se pirolizaron a 450 °C con flujo de N<sub>2</sub> durante 40 min. La caracterización incluyó espectroscopía FTIR, área por el método BET y microscopía electrónica de barrido (SEM). Por FTIR, se identificaron bandas características relacionadas con las vibraciones de estiramiento del O-H y C-O en alcoholes y fenoles, como así también las vibraciones de estiramiento C-H y C-C atribuidas a anillos aromáticos (El-Sheikh & Newman, 2023). En cuanto al área superficial se observa que la muestra BC\_Fe (77,3 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) con tratamiento de impregnación de Fe, disminuyó aproximadamente un 10% su área superficial con respecto al material de partida BC (88,7 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>). Por SEM se observó una morfología superficial uniforme, con partículas de bordes irregulares y porosidad localizada.

La evaluación de la capacidad de remoción de arsénico (As) de los materiales (Figura 1), se realizó en un reactor batch a temperatura ambiente. Se pusieron en contacto 0,28 g de material con 70 mL de solución de As (III) con concentración de 200 ppb bajo agitación magnética constante. A intervalos de tiempo definidos, se tomaron muestras que fueron centrifugadas para separar el sólido de la fase acuosa. El contenido de As residual se determinó mediante un test colorimétrico utilizando tiras reactivas MQuant®.





**Figura 1.** Porcentaje de remoción de As (III) de los biocarbones a distintos tiempos de contacto.

En conclusión, el material impregnado con Fe alcanzó una remoción de arsénico del 80% a los 90 min, superando al material BC que solo logró el 20% a pesar de la mayor área superficial de este último. La incorporación de Fe en la superficie del biocarbón propicia la remoción mediante procesos de complejación y adsorción superficial (Nand et al., 2024). El  $\text{Fe}^{+3}$  favorece las interacciones en la superficie y forma complejos más estables con el arsenito. Si bien se ha estudiado que la adsorción de As sigue una cinética de pseudo segundo orden con otros adsorbentes como los óxidos mixtos de MgAlFe (Heredia et al., 2019), resulta necesario analizar específicamente este proceso en biocarbones. Además, se prevé evaluar estos materiales en matrices acuosas de diversas regiones de Argentina, las cuales presentan características físico-químicas distintivas. Estos estudios, sumados a los resultados obtenidos, potencian la aplicación de los biocarbones derivados de residuos olivícolas en procesos de purificación hídrica en el marco de la economía circular.

## Referencias:

- El-Sheikh, A.H. & Newman, A.P. (2023). *Emerging Contaminants*, 9, 100209. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2023.100209>
- Ezzahi, K., Rabichi, I., El Fels, L., Idouhli, R., & Rochdi, N. (2026). *Waste Management*, 216, 115452 <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2026.115452>
- Heredia, A., Gómez Avila, J., Vinuesa, A., Saux, C., Mendoza, S., Garay F., & Crivello, M. (2019) *Adsorption*, 25, 1425-1436. <https://doi.org/10.1007/s10450-019-00109-2>
- Nand, S., Kumar, S., Pratap, B., Dubey, D., Naseem, M., Patel, A., Shukla, S., & Kumar Srivastava, P. (2024). *Journal of Cleaner Production*, 482, 144247 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144247>



## Efecto de la modificación de zeolitas tipo MFI en el desempeño de catalizadores Ru–Re para la hidrogenólisis de glicerol.

Ludmila Chorvat<sup>a\*</sup>, Maria Eugenia Sad<sup>b</sup>, Cristina Padro<sup>c</sup>.

<sup>a</sup> *Inchorvat@fiq.unl.edu.ar, INCAPE-CONICET, Santa Fe-Argentina.*

<sup>b</sup> *mesad@fiq.unl.edu.ar, INCAPE-CONICET, Santa Fe-Argentina.*

<sup>c</sup> *clpadro@fiq.unl.edu.ar, INCAPE-CONICET, Santa Fe-Argentina.*

**Palabras clave:** zeolitas, hidrogenólisis, glicerol.

### Resumen

La valorización catalítica de polioles derivados de biomasa constituye una estrategia prometedora para la producción sostenible de compuestos de alto valor agregado (Yamaguchi et al., 2017). En particular, la hidrogenólisis de enlaces C–O en glicerol (GLY) permite obtener selectivamente productos de menor contenido de oxígeno, como propanodiolos (Nakagawa et al., 2014), siempre que se favorezca la ruptura C–O frente a reacciones competitivas. En este contexto, el diseño de catalizadores eficientes requiere sistemas con propiedades estructurales y ácido-base ajustadas.

En este trabajo se sintetizaron catalizadores bimetalicos Ru–Re soportados sobre materiales no convencionales derivados de zeolitas tipo MFI25 y MFI40 modificadas. Los soportes fueron obtenidos mediante molienda, recristalización hidrotermal e incorporación de titanio (Ti), generando estructuras con micro y mesoporosidad. De esta forma se sintetizaron soportes recristalizados sin Ti (RBMFI25 y RBMFI40) y con Ti como heteroátomo estructural (TiRBMFI25 y TiRBMFI40). Los metales fueron incorporados por impregnación a humedad incipiente. Los sólidos sintetizados fueron caracterizados por XRF, DRX, RMN, XPS, TEM, SEM y fisisorción de N<sub>2</sub>, mientras que la acidez se evaluó por FTIR de piridina y TPD de NH<sub>3</sub>. Los resultados de la caracterización confirmaron la preservación de la estructura MFI, junto con un aumento de la mesoporosidad (Tabla 1) y una modificación de la acidez superficial, con mayor contribución de sitios Lewis tras la incorporación de Ti. La generación de defectos mediante la molienda favoreció la incorporación de Ti, mientras que el uso de direccionador de estructura durante la recristalización permitió el desarrollo de mesoporos, mejorando la accesibilidad a los sitios activos.

El estudio de las reacciones se llevó a cabo bajo condiciones idénticas en un reactor discontinuo (0.4 M GLY, 473 K, 12.5 g<sub>cat</sub>·L<sup>-1</sup>, P<sub>H2</sub>=25 bar, t=8h). En los ensayos catalíticos (Figura 1), la recristalización del soporte incrementó el balance de carbono y la selectividad hacia propanodio-

**Tabla 1.** Análisis textural de zeolitas comerciales, recristalizadas con y sin Ti.

|                                                        | MFI25 | RBMFI25 | Ti-<br>RBMFI25 | MFI40 | RBMFI40 | Ti-<br>RBMFI40 |
|--------------------------------------------------------|-------|---------|----------------|-------|---------|----------------|
| V <sub>Total</sub> [cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> ] | 0,22  | 0,24    | 0,23           | 0,22  | 0,23    | 0,23           |
| V <sub>micro</sub> [cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> ] | 0,14  | 0,13    | 0,12           | 0,13  | 0,13    | 0,12           |
| V <sub>meso</sub> [cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> ]  | 0,08  | 0,11    | 0,11           | 0,09  | 0,11    | 0,11           |
| S <sub>BET</sub> [m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> ]    | 397   | 387     | 352            | 405   | 394     | 362            |
| S <sub>micro</sub> [m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> ]  | 309   | 295     | 267            | 295   | 269     | 269            |
| S <sub>meso</sub> [m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> ]   | 87,9  | 91,9    | 85,0           | 110   | 125     | 93             |

alcanzando valores de hasta 55% y 48% para RuRe/RBMFI25 y RuRe/RBMFI40 respectivamente luego de 8 h de reacción. Asimismo, la presencia del sistema Ru–Re resultó clave para aumentar la conversión,

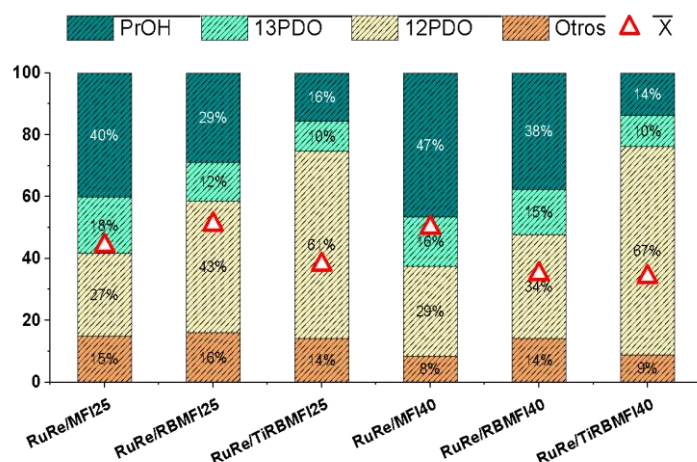
les,





evidenciando un efecto sinérgico entre ambos metales. La incorporación de Ti produjo un aumento adicional en la selectividad hacia propanodiol, acompañado de una disminución en la formación de subproductos.

Estos resultados demuestran que la modificación del soporte, mediante la generación de mesoporosidad y la incorporación de heteroátomos, permite modular la interacción metal-soporte y optimizar el desempeño catalítico. En particular, los materiales desarrollados se presentan como sistemas promisorios para la producción selectiva de propanodiol a partir de glicerol, contribuyendo al diseño de procesos más eficientes para la valorización de biomasa.



**Figura 1.** Conversión y distribución de productos líquidos en reacción de C-O hidrogenólisis de glicerol.

## Referencias:

- Nakagawa, Y., Tamura, M., & Tomishige, K. (2014). Catalytic materials for the hydrogenolysis of glycerol to 1,3-propanediol. *Journal of Materials Chemistry A*, 2(19), 6688–6702. <https://doi.org/10.1039/c3ta15384c>
- Yamaguchi, A., Muramatsu, N., Mimura, N., Shirai, M., & Sato, O. (2017). Intramolecular dehydration of biomass-derived sugar alcohols in high-temperature water. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 19(4), 2714–2722. <https://doi.org/10.1039/c6cp06831f>



## Bio-nanoinhibidores de Corrosión para Pozos Inyectores: Valorización de Polifenoles Extraídos de Pulpa de Café.

Juan D. Quintero<sup>a</sup>, Yurany Villada<sup>a</sup>, Karol zapata<sup>a</sup>, Esteban A. Taborda<sup>a</sup>, Camilo A. Franco<sup>a</sup>, Farid B. Cortés<sup>a</sup>

<sup>a</sup> [jdquinteroc@unal.edu.co](mailto:jdquinteroc@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

<sup>a</sup> [yavillad@unal.edu.co](mailto:yavillad@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>a</sup> [kzapata@unal.edu.co](mailto:kzapata@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>a</sup> [eatabord@unal.edu.co](mailto:eatabord@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>a</sup> [caafrancoar@unal.edu.co](mailto:caafrancoar@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>a</sup> [fbcortes@unal.edu.co](mailto:fbcortes@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín

**Palabras clave:** Corrosión, carbon quantum dots, polifenoles, pozos inyectores

### Resumen

El desarrollo de un inhibidor de corrosión eficiente y ambientalmente amigable a base de pulpa de café es esencial para garantizar la integridad y la seguridad operativa de las tuberías de pozos de inyección. El uso de antioxidantes naturales del café representa una alternativa sostenible y de bajo costo frente a los inhibidores químicos sintéticos altamente tóxicos [1]. Los compuestos polifenólicos del café pueden actuar como inhibidores ecológicos, formando una capa protectora que detiene la oxidación de los metales [2]. En este estudio, la pulpa de café, un residuo agroindustrial abundante, fue valorizada como fuente de compuestos bioactivos con función inhibidora de la corrosión. Los polifenoles se extrajeron a partir de 80 g de pulpa de café seca mediante un proceso de extracción asistida por ultrasonido en una mezcla etanol-agua (50:50) con una masa total de 800 g, eliminándose posteriormente el etanol mediante rota evaporación. Los extractos obtenidos se caracterizaron mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), análisis termogravimétrico (TGA), el ensayo de Folin-Ciocalteu y pruebas de capacidad antioxidante.

El desempeño anticorrosivo de estos sistemas se evaluó sistemáticamente mediante resistencia a la polarización lineal, espectroscopía de impedancia electroquímica y ensayos gravimétricos sobre cupones metálicos bajo condiciones corrosivas simuladas representativas de ambientes petroleros. El contenido total de polifenoles fue de 844.3 mg equivalentes de ácido gálico (GAE)/L, mientras que la actividad antioxidante alcanzó 3538.4 mg equivalentes de Trolox (TE)/L mediante ABTS y 1265.6 mg TE/L mediante DPPH, confirmando sus fuertes propiedades reductoras y de captura de radicales libres. Los extractos polifenólicos acuosos se emplearon posteriormente para formular el inhibidor mejorado con nanopartículas.

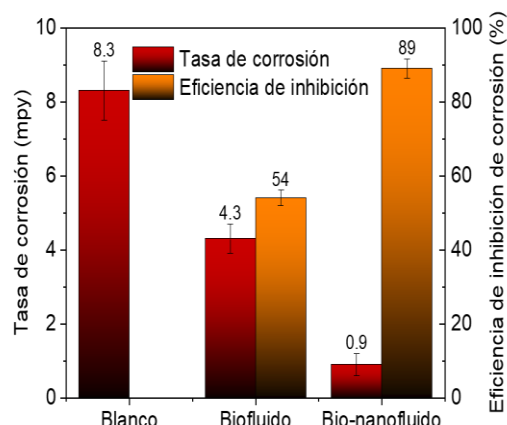
Los resultados de la prueba de gravimetría presentados en la figura 1 revelaron que la incorporación de nanopartículas incrementó sustancialmente la adsorción de los compuestos polifenólicos sobre la superficie metálica, mejorando su efecto protector. Mientras que el extracto polifenólico (biofluido) por sí solo alcanzó una eficiencia de inhibición del 54%, el sistema mejorado con puntos cuánticos de carbono (bio-nanofluido) alcanza eficiencias de inhibición del 89%.

Los resultados presentados en la figura 2 indican que el bio-nanofluido actúa como un inhibidor de corrosión altamente efectivo en comparación con el biofluido base y la muestra de control. En las curvas de polarización de la figura 2a), se observa que la adición del bio-nanofluido desplaza la curva hacia densidades de corriente significativamente menores y potenciales más nobles, lo que sugiere la formación de una capa protectora sobre la superficie metálica. Estos resultados se muestran en la figura 2b), donde el bio-nanofluido reduce drásticamente la densidad de corriente de 4.9 (A/cm<sup>2</sup>) a solo 0.7 (A/cm<sup>2</sup>), alcanzando una eficiencia de inhibición superior del 85.9%. En contraste, el biofluido sin nanopartículas solo logra una eficiencia del 45.2%, lo que demuestra que la incorporación de nanoestructuras potencia sustancialmente las propiedades anticorrosivas del sistema analizado.



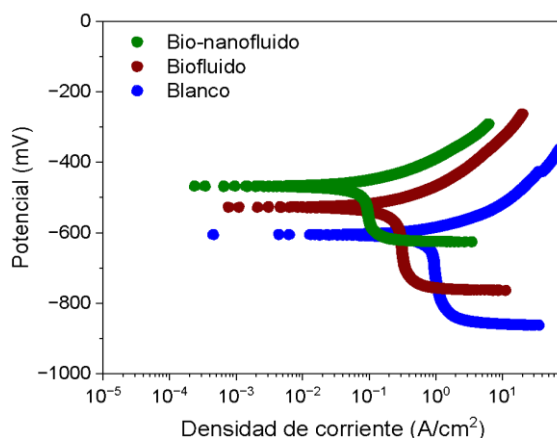


(a)

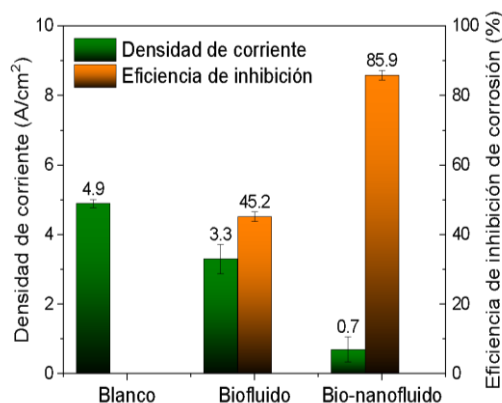


(b)

Figura 1 (a) Registro fotográfico de inmersión de cupones y (b) Tasa de corrosión y eficiencia de inhibición obtenidos de la prueba de gravimetría



(a)



(b)

Figura 2 (a) Registro fotográfico de inmersión de cupones y (b) Tasa de corrosión y eficiencia de inhibición obtenidos de la prueba de gravimetría

En conjunto, este estudio destaca el desempeño superior del sistema CQDs–polifenoles y propone una estrategia sostenible y de valor agregado para la revalorización de residuos agroindustriales de café en inhibidores de corrosión avanzados diseñados para aplicaciones en la industria petrolera.

## Referencias

- [1] Castillo, N. E. T., Acosta, Y. A., Parra-Arroyo, L., Martínez-Prado, M. A., Rivas-Galindo, V. M., Iqbal, H. M., ... & Parra-Saldívar, R. (2022). Towards an eco-friendly coffee rust control: compilation of natural alternatives from a nutritional and antifungal perspective. *Plants*, 11(20), 2745.
- [2] Janoub, F., Chraka, A., Kassout, J., Seddik, N. B., Ghajjou, A., Chaouket, F., ... & Raissouni, I. (2024). Innovative characterization of coffee waste extracts and their derivatives as efficient ecological corrosion inhibitors for copper alloy in 3% nacl: phytochemical investigations, electrochemical explorations, morphological assessment and new computational methodology. *Journal of Bio-and Tribo-Corrosion*, 10(4), 95.



## Electrorreducción de $\text{CO}_2$ a hidrocarburos $\text{C}_2^+$ sobre catalizadores $\text{Ni/CeO}_2\text{--ZrO}_2$ : una vía de valorización hacia combustibles sostenibles

Yassine Gorine\*, Lilian D. Ramírez Valencia, Abdelhakim Elmouwahidi, Agustín F. Pérez Cadenas, Francisco Carrasco Marín, Esther Bailón García.

\*yassinigorine@correo.ugr.es, *Materiales polifuncionales basados en carbono UGR-Carbon, Granada, España*

**Palabras clave:** electrorreducción de  $\text{CO}_2$ ;  $\text{Ni/CeO}_2\text{--ZrO}_2$ ; hidrocarburos  $\text{C}_2^+$ ; valorización de  $\text{CO}_2$

### Resumen

La electrorreducción de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2\text{RR}$ ) se ha consolidado en los últimos años como una de las rutas más prometedoras para transformar un gas de efecto invernadero en productos químicos y combustibles de valor añadido, contribuyendo a estrategias de descarbonización y economía circular. En este contexto, los catalizadores basados en níquel resultan especialmente atractivos por su abundancia, bajo coste y versatilidad, aunque la mayor parte de los trabajos reportados con catalizadores de este tipo se centran en la producción de  $\text{CO}$  o gas de síntesis, el rendimiento hacia hidrocarburos ( $\text{C}_2^+$ ) es mucho más modesto. Por lo tanto, este trabajo se enmarca en las líneas temáticas de catálisis ambiental y valorización de residuos, proponiendo el estudio de catalizadores  $\text{Ni/CeO}_2\text{--ZrO}_2$  para la conversión electroquímica de  $\text{CO}_2$  en fase gas a hidrocarburos gaseosos  $\text{C}_2^+$ , con especial énfasis en la generación de productos tipo combustible.

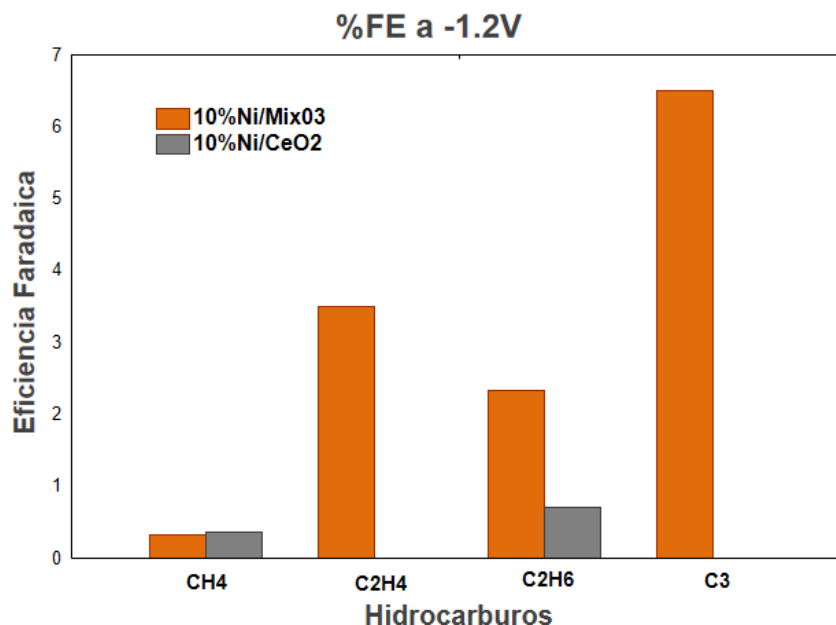
Los catalizadores se prepararon por impregnación de  $\text{Ni}$  sobre soportes de  $\text{CeO}_2$  y mezclas  $\text{CeO}_2\text{--ZrO}_2$ , seguidos de etapas de impregnación física y calcinación controlada. La actividad catalítica se estudió en una celda de electrolizador en configuración de flujo, aplicando potenciales de  $-1,2$ ;  $-1,4$  y  $-1,6$  V vs  $\text{Ag/AgCl}$ , y monitorizando en tiempo real los productos gaseosos mediante cromatografía de gases acoplada con detectores TCD/FID. Este enfoque permite seguir la evolución de  $\text{CH}_4$  y de hidrocarburos  $\text{C}_2^+$  ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$  y fracción  $\text{C}_3$ ) bajo condiciones de operación cercanas a las de trabajo continuo.

Los resultados muestran que el catalizador de referencia 10%  $\text{Ni--CeO}_2$  presenta una formación limitada de hidrocarburos, con fracciones de  $\text{CH}_4$  y  $\text{C}_2^+$  bajas en todo el intervalo de potencia aplicado. En cambio, los óxidos mixtos  $\text{Ni/CeO}_2\text{--ZrO}_2$  presentan una respuesta significativamente superior, destacando especialmente el material  $\text{Ni--Mix03}$  a  $-1,2$  V vs  $\text{Ag/AgCl}$ , donde se observa un incremento notable en la señal de hidrocarburos multicarbono en comparación con el sistema  $\text{Ni--CeO}_2$ . Este comportamiento sugiere que la incorporación de  $\text{Zr}$  en la matriz de  $\text{CeO}_2$  modifica la naturaleza y entorno de los sitios de  $\text{Ni}$ , favoreciendo rutas de opamiento  $\text{C--C}$  y una mayor valorización del  $\text{CO}_2$  hacia combustibles gaseoso.

En conjunto, los resultados obtenidos sugieren que los catalizadores  $\text{Ni/CeO}_2\text{--ZrO}_2$  permiten modular la formación de hidrocarburos  $\text{C}_2^+$  y  $\text{C}_3^+$  en  $\text{CO}_2\text{RR}$  frente a  $\text{Ni--CeO}_2$ . Este comportamiento se enmarca en el buen desempeño ya descrito para sistemas  $\text{Ni/Ce}_{1-x}\text{Zr}_x\text{O}_2$  en la metanación catalítica de  $\text{CO}_2$ , donde la composición  $\text{Ce/Zr}$  y la microestructura del soporte se han relacionado estrechamente con la actividad y la estabilidad del catalizador. Además, se logra una eficiencia farádica comparable o incluso superior en la producción de hidrocarburos frente a la obtenida con catalizadores cercanos reportados en la literatura para la electrorreducción de  $\text{CO}_2$ , utilizando un potencial moderado (Zhou et al., 2022; Vos & Koper, 2024; Pakharukova et al., 2022).







**Figura 1.** Eficiencia faradaica (%) a -1.2 V vs Ag/AgCl para los catalizadores 10%Ni-Mix03 y 10%Ni- CeO2 en diferentes hidrocarburos.

**Tabla 1.** Eficiencias de Faraday a hidrocarburos sobre 10% Ni–Mix03 a distintos potenciales.

| Potencia I (V vs Ag/AgCl) | FE(CH <sub>4</sub> ) (%) | FE(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) (%) | FE(C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ) (%) | FE(C <sub>3</sub> ) (%) | FE(H C total) (%) |
|---------------------------|--------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| –1.2                      | 0.32                     | 3.50                                   | 2.34                                   | 6.5                     | 12.66             |
| –1.4                      | 0.48                     | 0.19                                   | 0.39                                   | 4.4                     | 5.46              |
| –1.6                      | 0.25                     | 0.09                                   | 0.14                                   | 0.5                     | 0.98              |

## Referencias:

Zhou, Y., Martín, A. J., Dattila, F., Xi, S., López, N., Pérez-Ramírez, J., & Yeo, B. S. (2022). Long- chain hydrocarbons by CO<sub>2</sub> electroreduction using polarized nickel catalysts. *Nature Catalysis*, 5, 545–554. <https://doi.org/10.1038/s41929-022-00803-5>

Vos, R. E., & Koper, M. T. M. (2024). Nickel as electrocatalyst for CO<sub>2</sub> reduction: Effect of temperature, potential, partial pressure, and electrolyte composition. *ACS Catalysis*, 14(7), 4432– 4440. <https://doi.org/10.1021/acscatal.4c00009>

Pakharukova, V. P., Potemkin, D. I., Rogozhnikov, V. N., Stonkus, O. A., Gorlova, A. M., Nikitina, N. A., Suprun, E. A., Brayko, A. S., Rogov, V. A., & Snytnikov, P. V. (2022). Effect of Ce/Zr Composition on Structure and Properties of Ce<sub>1–x</sub>Zr<sub>x</sub>O<sub>2</sub> Oxides and Related Ni/Ce<sub>1–x</sub>Zr<sub>x</sub>O<sub>2</sub> Catalystsfor CO<sub>2</sub> Methanation. *Nanomaterials*, 12(18), 3207.



# Electrodiálisis y métodos analíticos de avanzada aplicados a la remediación de recursos hídricos contaminados con glifosato.

Luisina D. Demonte<sup>a,\*</sup>, María R. Repetti<sup>b</sup>, Laura B. Gutierrez<sup>a</sup>, Julián M. Schmidhalter<sup>a</sup>, Laura M. Cornaglia<sup>a</sup>, María L. Bosko<sup>a</sup>.

<sup>a</sup> Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica, INCAPE - CONICET, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, FIQ-UNL, Santiago del Estero 2829-3000 Santa Fe, Argentina.

<sup>b</sup> Programa de Investigación y Análisis de Residuos y Contaminantes Químicos (PRINARC), Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, FIQ-UNL, Santiago del Estero 2654-3000 Santa Fe, Argentina.

\* [luisinademonte@gmail.com](mailto:luisinademonte@gmail.com)

**Palabras clave:** glifosato, electrodiálisis, contaminantes emergentes, remediación

## Resumen

El glifosato (GLI) es uno de los herbicidas más utilizados a nivel mundial. Es un compuesto muy diferente a la mayoría de los plaguicidas e implica un mayor desafío a la hora del análisis en matrices de composición compleja. Presenta bajo peso molecular, alta solubilidad en agua, baja solubilidad en solventes orgánicos y comportamiento anfótero, encontrándose normalmente en forma iónica (generalmente con carga neta negativa en casi toda la escala de pH). Diversos estudios han demostrado el impacto ambiental de la utilización de GLI en cursos de agua superficial y subterránea (Sasal et al., 2017; Demonte et al., 2018), por lo que es necesario contar con tecnologías eficientes y amigables con el medioambiente para mitigar esta situación, y una alternativa factible es el uso de electrodiálisis (ED) para separar, purificar y concentrar el GLI como así también otros compuestos dispuestos en fase líquida provenientes de diversas fuentes.

La ED se basa en el transporte de iones a través de membranas de intercambio iónico selectivas bajo la aplicación de un campo eléctrico, lo que permite la separación y remoción de especies iónicas presentes en solución. Este proceso se caracteriza por ser inocuo, operar a presión y temperatura ambiente y no requerir la adición de compuestos químicos nocivos (José et al., 2021; Lopez et al., 2023), e industrialmente, en los últimos años se ha investigado su aplicación en la recuperación y separación de compuestos, tanto orgánicos como inorgánicos (Bosko et al., 2026).

En este trabajo se plantea emplear ED para la separación, purificación y concentración de GLI dispuesto en fase líquida con la finalidad de revalorizar los compuestos recuperados, con un alcance regional y nacional.

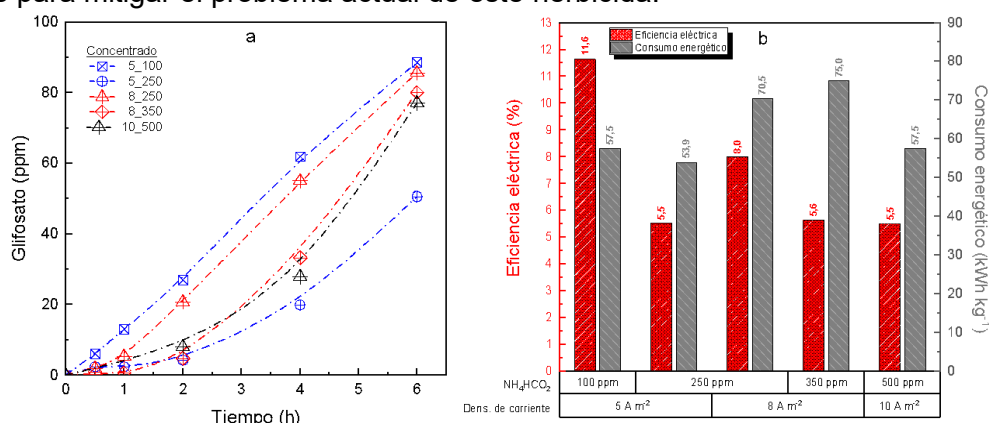
Se empleó una celda de ED que consta de cuatro compartimentos (diluido: CD, concentrado: CC, catódico: C-C y anódico: C-A) separados por tres membranas poliméricas de intercambio iónico, dos catiónicas y una aniónica intermedia. En el CD se colocó la solución con 100 ppm de GLI y se adicionó sal de formiato de amonio ( $\text{NH}_4\text{HCO}_2$ ) como electrolito soporte para incrementar la conductividad y el número de transporte de iones de la solución en cada compartimento. Las pruebas se realizaron a temperatura ambiente durante seis horas en modo continuo de operación. Para el análisis de GLI, se colectaron alícuotas de 1 mL en tiempos preestablecidos del CD y CC. La concentración de GLI se determinó siguiendo la estrategia de derivatización previa con FMOc (Demonte et al., 2018) y posterior análisis mediante cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masa en tándem (UHPLC-MS/MS). El rendimiento de la membrana se evaluó en términos de porcentaje de extracción de GLI ( $P_{\text{ext GLI}}$ ).

En los ensayos se estudió el efecto de la densidad de corriente aplicada (5, 8 y 10  $\text{A m}^{-2}$ ) y la concentración de  $\text{NH}_4\text{HCO}_2$  (100, 250, 350 y 500 ppm) en la migración del GLI y el desempeño global de la ED. La nomenclatura adoptada fue X\_Y, donde X corresponde a la densidad de corriente ( $\text{A m}^{-2}$ ) e Y a la concentración de formiato de amonio (ppm).



El  $P_{\text{ext GLI}}$  más alto (83%) se obtuvo empleando una densidad de corriente de  $5 \text{ A m}^{-2}$  y 100 ppm de electrolito soporte, alcanzando una concentración de 89 ppm de GLI en el CC, con una eficiencia eléctrica de 11,6% y consumo energético de  $57,5 \text{ kWh kg}^{-1}$  (Figura 1 a y b).

Al evaluar los resultados obtenidos durante esta investigación se demuestra que la ED es una alternativa sostenible para remover GLI de un medio acuoso, permitiendo implementar técnicas amigables con el medioambiente para mitigar el problema actual de este herbicida.



**Figura 1.** a) Evolución de la concentración de GLI en el compartimento concentrado. b) Eficiencia eléctrica y consumo energético.

## Referencias

- Bosko, M. L., Depuydt, S., Vanneste, E. & Bruggen, V. der B. (2026). Towards sustainable synthesis of sulfonated PEEK membranes via ASTROBIO™ NS6-assisted crosslinking: A green platform for electrodialysis. *Desalination*, 628, 120041. [10.1016/j.desal.2026.120041](https://doi.org/10.1016/j.desal.2026.120041)
- Demonte, L. D., Michlig, N., Gaggiotti, M., Adam, C. G., Beldoménico, H. R., Repetti, M. R. (2018). Determination of glyphosate, AMPA and glufosinate in dairy farm water from Argentina using a simplified UHPLC-MS/MS method. *Science of the Total Environment*, 645, 34-43. [10.1016/j.scitotenv.2018.06.340](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.340)
- José, C., Briand, L. E., Michlig, N., Repetti, M. R., Benedetich, C., Cornaglia, L. M., Bosko, M. L. (2021). Isolation of ibuprofen enantiomers and racemic esters through electrodialysis. *Membrane Science*, 618, 118714. [10.1016/j.memsci.2020.118714](https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118714)
- Lopez, M., Cornaglia, L. M., Gutierrez, L. B. & Bosko, M. L. (2023). Electrodialysis as a potential technology for 4-nitrophenol abatement from wastewater. *Environmental Science and Pollution Research International*, 30(46), 102198-102211. [10.1007/s11356-023-29510-9](https://doi.org/10.1007/s11356-023-29510-9)
- Sasal, M. C., Wilson, M. G., Sione, S. M., Beghetto, S. M., Gabioud, E. A., Oszust, J. D., Pravani, E. V., Demonte, L. D., Repetti, M. R., Bedendo, D. J., Medero, S. L., Goette, J. J., Pautasso, N., & Schulz, G. A. (2017). Monitoreo de glifosato en agua superficial en Entre Ríos. La investigación acción participativa como metodología de abordaje. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 43(2), 195-205. issn 0325-8718. eissn 1669-2314



## Evaluación de toxicidad aguda de los sedimentos generados en el tratamiento de agua potable mediante ensayos de germinación en semillas de lechuga (*Lactuca Sativa* L.)

**Eliana Llano Cardona<sup>a\*</sup>, Mariana Orozco Alzate<sup>b</sup>, Rodolfo Mira Betancur<sup>c</sup>.**

<sup>a</sup> [eliana.llano@udea.edu.co](mailto:eliana.llano@udea.edu.co), Empresas Públicas de Medellín E.S.P. -EPM-, Medellín

<sup>b</sup> [mariana.orozco@epm.com.co](mailto:mariana.orozco@epm.com.co), Empresas Públicas de Medellín E.S.P. -EPM-, Medellín

<sup>c</sup> [rodolfo.mira@epm.com.co](mailto:rodolfo.mira@epm.com.co), Empresas Públicas de Medellín E.S.P. -EPM-, Medellín

**Palabras clave:** Potabilización de agua, sedimentos de potabilización, germinación de semillas, aprovechamiento de residuos, sostenibilidad.

### Resumen

Empresas Públicas de Medellín E.S.P. -EPM-, genera anualmente cerca de 15.000 toneladas de sedimentos deshidratados como subproducto del proceso de potabilización de agua, que se realiza en 12 de las plantas de potabilización operadas por la empresa. Los sedimentos están compuestos predominantemente por una fracción inorgánica compuesta por aluminio, sílice y hierro, además en menores proporciones pueden contener materia orgánica y microorganismos. Como alternativa para su correcta eliminación, en las 12 plantas de potabilización, EPM lleva a cabo el proceso de deshidratación de los sedimentos, los cuales provienen principalmente de la etapa de sedimentación (Torres Lozada et al., 2022). Estos son sometidos a una serie de operaciones unitarias tales como: homogenización, preespesado, espesado y deshidratación, durante las cuales se adicionan floculantes que facilitan su acondicionamiento y deshidratación. Actualmente son dispuestos en escombrera, sin embargo, diversos estudios han explorado su uso en aplicaciones agrícolas (Bitencourt et al., 2021). En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la fitotoxicidad de los sedimentos deshidratados generados en las 12 plantas de potabilización de EPM (San Nicolas, Barbosa, La Cascada, San Cristobal, Aguas Frías, San Antonio, Villa Hermosa, Manantiales, La Ayurá, La Montaña, Caldas, Rionegro), así como de aquellos obtenidos en las etapas de homogenización, preespesado y espesado de la planta La Ayurá, con el fin de analizar su potencial aprovechamiento a partir de ensayos de germinación utilizando semillas de *Lactuca Sativa*.

**Metodología:** se realizó un ensayo de fitotoxicidad aguda con semillas de Lechuga (*Lactuca sativa* var. Black Seeded Simpson) de acuerdo con una metodología establecida (Sobrero & Ronco, 2004). Las semillas se incubaron durante 120 h a 22 °C en oscuridad. El sedimento se comparó con un control negativo de agua desionizada donde se evaluó la elongación de la radícula, y se calculó el porcentaje de inhibición del crecimiento radicular de las semillas con respecto al control negativo o blanco.

**Resultados:** El control negativo presentó un porcentaje de germinación del 90 % y un crecimiento radicular superior al de todas las muestras de sedimentos. En general, las semillas expuestas a los sedimentos deshidratados evidenciaron una reducción significativa en la elongación de la radícula (ver Figura 1). Entre los tratamientos evaluados, los mejores resultados para los sedimentos deshidratados se obtuvieron en las plantas Caldas y Rionegro, ambas abastecidas por aguas superficiales de quebradas y ríos.

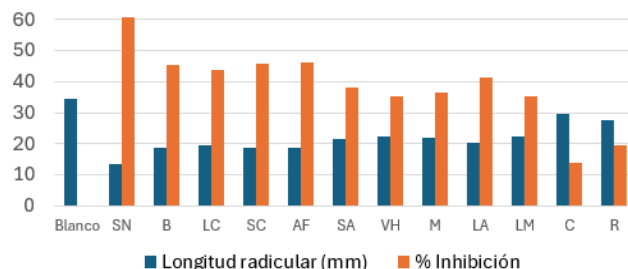
Las diferencias observadas en los demás tratamientos están asociadas a la mayor presencia de sustancias inorgánicas como el aluminio, dado que inhibe la absorción de nutrientes y disminuye la capacidad de captación de agua por medio de las raíces, esto se debe a que la unión del Al a la raíz causa pérdida de  $Mg^{2+}$ ,  $K^{+}$ , y  $Ca^{2+}$ , así como limita la disponibilidad de nutrientes indispensables como P, Mg y Mo, y por lo tanto, perjudica el crecimiento de la raíz (Wei et al., 2021). Por otro lado, cuando se compararon muestras de sedimentos obtenidos en las diferentes etapas del proceso (*SH: sedimento homogéneo*, *SPE: sedimento preespesado*, *SE: sedimento espesado* y *SD: sedimento deshidratado*) se obtuvo el mejor resultado para





el sedimento homogéneo -SH- (ver Tabla 1), con tan solo un 3.9 % de inhibición radicular y una longitud promedio similar al control negativo, es de destacar que este solo contiene un 2% de sólidos, mientras que el sedimento deshidratado para esta misma planta tiene entre el 20% y el 30% de sólidos. Los mejores resultados obtenidos para el sedimento homogéneo pueden atribuirse a que este contiene una menor proporción de sólidos, y por tanto, es razonable esperar una menor disponibilidad de aluminio y, en consecuencia, un menor efecto fitotóxico sobre el crecimiento de la lechuga.

De acuerdo con los resultados obtenidos, no se recomienda emplear directamente los sedimentos de potabilización deshidratados para su uso en cultivos agrícolas. Para estudios futuros, se sugiere evaluar diluciones de los sedimentos en agua o emplear solamente el sedimento homogéneo, dado que su menor contenido de sólidos atenúa el impacto del aluminio presente.



**Figura 1.** Resultado radicular de la germinación de semillas en los sedimentos deshidratados en las Plantas de EPM.

**Tabla 1.** Resultado radicular de la germinación de semillas en sedimentos obtenidos en las etapas del tratamiento en La Ayurá.

| Resultados              | SH   | SPE  | SE   | SD   |
|-------------------------|------|------|------|------|
| Longitud radicular (mm) | 36,4 | 27,4 | 24,5 | 20,2 |
| % Inhibición            | 3,9  | 21,9 | 30,2 | 41,4 |

## Referencias

- Bitencourt, G. de A., Apolari, J. P., Souza, G. de, & Monteiro, R. T. R. (2021). Lodo gerado em Estação de Tratamento de Água: Avaliação preliminar da toxicidade em plantas de milho. *Scientia Plena*, 16(12). <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2020.120201>
- Sobrero, M. C., & Ronco, A. (2004). Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas: estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. In G. Castillo Morales (Ed.), *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua* (pp. 71–80).
- Torres Lozada, P., Arango Vallejo, L. A., & Torres López, W. A. (2022). Estimación de la producción de lodos en plantas convencionales de tratamiento de agua potable mediante modelos de predicción. *Revista UIS Ingenierías*, 21(4), 87–96. <https://doi.org/10.18273/revuin.v21n4-2022008>
- Wei, Y., Han, R., Xie, Y., Jiang, C., & Yu, Y. (2021). Recent Advances in Understanding Mechanisms of Plant Tolerance and Response to Aluminum Toxicity. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 1782, 13(4), 1782. <https://doi.org/10.3390/SU13041782>



# Valorización Sostenible de Cáscara de Soja: Levoglucosenona como Plataforma Bioactiva Identificada por CCD-Bioautografía

Beatriz Pava-Gómez<sup>a</sup>, Mario Salazar<sup>b</sup>, Ariel Sarotti<sup>c</sup>, Alejandra Suárez<sup>d</sup>, Ricardo Furlan<sup>e</sup>, Rolando Spanevello<sup>f\*</sup>

<sup>a</sup> bpavagomez@fbioyf.unr.edu.ar, Universidad Nacional de Rosario, Rosario - Argentina

<sup>b</sup> salazar@rosario-conicet.gov.ar, Universidad Nacional de Rosario, Rosario - Argentina

<sup>c</sup> sarotti@iquir-conicet.gov.ar, Universidad Nacional de Rosario - Instituto de Química de Rosario, Rosario

<sup>d</sup> suarez@iquir-conicet.gov.ar, Universidad Nacional de Rosario - Instituto de Química de Rosario, Rosario

<sup>e</sup> furlan@rosario-conicet.gov.ar, Universidad Nacional de Rosario, Rosario - Argentina

<sup>f</sup> rspaneve@fbioyf.unr.edu.ar, Universidad Nacional de Rosario - Instituto de Química de Rosario, Rosario

**Palabras clave:** Cáscara de soja, Levoglucosenona, Ureasa, Bioactividad guiada por CCD.

## Resumen

En Argentina se generan más de 400 mil toneladas anuales de cáscara de soja como residuo durante la producción industrial de aceite y harina de soja. En la región pampeana, las empresas aceiteras enfrentan costos asociados a la gestión y disposición final de este desecho. Además, el descarte y/o quema de estos desechos generan un impacto indeseable sobre el medio ambiente.

Los procesos de pirólisis se destacan como una estrategia eficiente para transformar residuos lignocelulósicos en productos de alto valor agregado. A partir de estos procesos se generan diversas fracciones, entre ellas carbón, bioaceite, agua y gases no condensables. El bioaceite constituye una matriz compleja rica en compuestos orgánicos de interés, cuya composición depende fuertemente de las condiciones de operación (Lachos-Perez et al., 2023).

Por otro lado, la urea es uno de los fertilizantes nitrogenados más utilizados a nivel mundial debido a su alta concentración de nitrógeno y bajo costo. Sin embargo, su eficiencia se ve limitada por su rápida hidrólisis en el suelo, catalizada por la enzima ureasa, lo que reduce su aprovechamiento por las plantas. En este contexto, resulta fundamental el desarrollo de estrategias que permitan controlar este proceso, entre ellas la búsqueda de inhibidores de ureasa o de plataformas químicas capaces de modular la actividad enzimática.

En este trabajo se evaluaron diferentes condiciones de pirólisis y se aplicó un ensayo biológico basado en bioautografía sobre una cromatografía en capa delgada (CCD), que permitió la detección cualitativa de inhibidores de ureasa. Las muestras de bioaceite fueron separadas por CCD y reveladas biológicamente, empleando ácido bórico como estándar ( $IC_{50} = 233,6 \mu M$ ).

Los resultados mostraron que el bioaceite obtenido a partir de pirólisis de cáscara de soja catalizada por ácido ( $H_3PO_4$ ) presentó compuestos con actividad inhibitoria. El compuesto activo fue aislado desde la placa de CCD utilizando un sistema HPTLC (CAMAG) y posteriormente identificado por espectrometría de masas (EM) como levoglucosenona (LGO).

LGO posee un alto valor comercial (superior a US\$500/g). LGO es una cetona bicíclica quiral, que contiene tres grupos funcionales reactivos, una unión anhidro glicosídica, un grupo cetona y un doble enlace, que le confieren gran versatilidad como plataforma molecular. Este sintón quiral ha sido utilizado como un importante precursor en la obtención de compuestos quirales, moléculas bioactivas y en el desarrollo de solventes verdes como la dihidrolevoglucosenona (Comba et al., 2018). Esto adicional al resultado del ensayo bioautográfico motivó al desarrollo de estrategias orientadas a su obtención selectiva a partir de pirólisis de la cáscara de soja.



Un análisis composicional de las cáscaras obtenidas de las empresas Vicentín S.A.I.C. (A), Bunge Argentina S.A. (B), Alejandro L. Permingeat S.A. (C) y Valor A S.A. (D), mostró que las primeras tres (A, B y C) presentan contenidos cercanos al 40 % p/p de celulosa, lo que las convierte en materias primas adecuadas para la producción de LGO. En contraste, D presentó un contenido inferior al 10 % p/p, por lo que fue descartada.

El proceso de optimización de pirólisis fue realizado en base a la cuantificación de la LGO por CG/FID. Se tuvieron en cuenta las diferentes variables que tenían lugar en el pre-tratamiento ácido y el procesamiento pirolítico de la cáscara de soja. Se realizaron una serie de experimentos que permitieron identificar que la concentración de ácido, y la temperatura de pirólisis, eran significativas para la obtención selectiva de LGO en el bioaceite. Estas variables fueron optimizadas mediante diseño estadístico central compuesto obteniéndose como condición óptima que impregnar 5 g de cáscara de soja en 100 mL de solución acuosa con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (2,7 % p/p), y pirolizar al vacío a 314 °C por 20 min, genera hasta 9,7 g de LGO por cada 100 g de celulosa que contenga la cáscara pre-tratada. Este resultado es comparable con los rendimientos reportados para pirólisis con celulosa microcristalina (3 - 10 %).

A fin de generar un proceso más sustentable en cuanto al consumo de solvente y reactivos se evaluó el rociado de la cáscara con 15 mL de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  al 3,45 % p/p y posterior pirólisis al vacío a 315 °C por 20 min. Obteniéndose un rendimiento análogo y resultando en la reducción del consumo de ácido y agua en: 5,2 y 6,5 veces respectivamente.

Los ensayos bioautográficos evidenciaron que el incremento en la concentración de LGO en el bioaceite, correlacionaba con un aumento en la actividad inhibitoria ureasa. Cualitativamente, otros componentes mayoritarios presentes en el bioaceite como 2-furfuraldehído y ácidos grasos (palmítico y linoleico) fueron identificados por CG/EM. LGO fue aislada del bioaceite mediante destilación al vacío con un grado de pureza en la que puede ser comercializada (96 % p/p).

Tras su aislamiento, LGO fue evaluada, obteniéndose un  $\text{IC}_{50}$  de 142,3  $\mu\text{M}$ , valor que indica una bioactividad moderada y superior al estándar de referencia utilizado (ácido bórico). Estos resultados abren perspectivas para el uso de la LGO como plataforma en el diseño de nuevos compuestos bioactivos con mayor actividad. Adicionalmente, el carbón generado en la pirólisis fue sometido a una activación química pirolítica y empleado en la remoción de contaminantes orgánicos en agua, evidenciando un aprovechamiento integral de todos los productos.

## Referencias :

Comba, M. B., Tsai, Y., Sarotti, A. M., Mangione, M. I., Suárez, A. G., & Spanevello, R. A. (2018). Levoglucosenone and Its New Applications: Valorization of Cellulose Residues. *European Journal of Organic Chemistry*, 2018, 590–604. <https://doi.org/10.1002/ejoc.201701227>

Lachos-Perez, D., Martins-Vieira, J. C., Missau, J., Anshu, K., Siakpebru, O. K., Thengane, S. K., Morais, A. R. C., Tanabe, E. H., & Bertuol, D. A. (2023). Review on Biomass Pyrolysis with a Focus on Bio-Oil Upgrading Techniques. *Analytica*, 4, 182–205. <https://doi.org/10.3390/analytica4020015>



# De Cáscara de Soja a Derivados de Levoglucosenona que Contienen Selenio: Síntesis y Evaluación como Inhibidores de Ureasa.

Beatriz Pava-Gómez<sup>a</sup>, Mario Salazar<sup>b</sup>, Ariel Sarotti<sup>c</sup>, Adrián Heredia<sup>d</sup>, Juan Argüello<sup>e</sup>, Rolando Spanevello<sup>f</sup>, Ricardo Furlan<sup>g\*</sup>

<sup>a</sup> [bpavagomez@fbioyf.unr.edu.ar](mailto:bpavagomez@fbioyf.unr.edu.ar), Universidad Nacional de Rosario, Rosario - Argentina

<sup>b</sup> [salazar@rosario-conicet.gov.ar](mailto:salazar@rosario-conicet.gov.ar), Universidad Nacional de Rosario, Rosario - Argentina

<sup>c</sup> [sarotti@quir-conicet.gov.ar](mailto:sarotti@quir-conicet.gov.ar), Universidad Nacional de Rosario - Instituto de Química de Rosario, Rosario

<sup>d</sup> [aheredia@unc.edu.ar](mailto:aheredia@unc.edu.ar), Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba - Argentina

<sup>e</sup> [juan.arguello@unc.edu.ar](mailto:juan.arguello@unc.edu.ar), Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba - Argentina

<sup>f</sup> [rspaneve@fbioyf.unr.edu.ar](mailto:rspaneve@fbioyf.unr.edu.ar), Universidad Nacional de Rosario - Instituto de Química de Rosario, Rosario

<sup>g</sup> [furlan@rosario-conicet.gov.ar](mailto:furlan@rosario-conicet.gov.ar), Universidad Nacional de Rosario, Rosario - Argentina

**Palabras clave:** Levoglucosenona, Organoselenio, Ureasa, Cáscara de soja.

## Resumen

El cultivo de soja constituye una de las actividades económicas más relevantes en Argentina. Durante el procesamiento industrial destinado a la obtención de harina y aceite, el grano es sometido a un proceso de descascarado, generándose como desecho la cáscara de soja. Estos residuos agrícolas suelen ser descartados o incinerados, lo que contribuye a la contaminación. En este contexto, la levoglucosenona (LGO, **1**) surge como una alternativa prometedora para la valorización de este tipo de biomasa. Este compuesto se obtiene mediante pirólisis de la cáscara de soja, a través de un proceso de transformación termoquímica de la celulosa presente en dicho residuo. Desde el punto de vista químico, la LGO se destaca como un bloque de construcción quiral altamente atractivo, debido a su elevada funcionalidad y rigidez estereoquímica. Posee un sistema carbonílico  $\alpha,\beta$ -insaturado activado que, en conjunto con sus múltiples grupos oxigenados, la convierte en una plataforma versátil para diversas transformaciones químicas (Comba et al., 2018; Pava-Gómez et al., 2024). En este trabajo, la LGO es utilizada como un material de partida renovable para la síntesis de compuestos de interés.

Por otro lado, la urea es uno de los fertilizantes nitrogenados más ampliamente utilizados en la agricultura. Sin embargo, en el suelo es susceptible a una rápida hidrólisis, proceso catalizado por la enzima ureasa producida por diversos microorganismos. Esta reacción da lugar a la formación de amoníaco y dióxido de carbono. Como consecuencia, se reduce la eficiencia en el uso de la urea como fuente de nitrógeno, ya que se producen pérdidas significativas por volatilización de amoníaco, además de generar incrementos localizados del pH en el suelo.

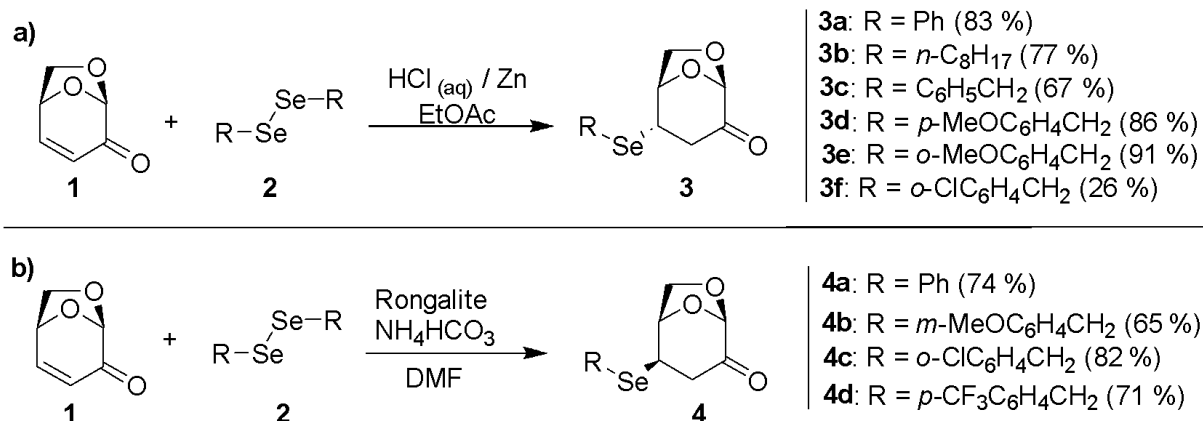
Los compuestos organoselenados han sido reportados como potentes inhibidores de ureasas bacterianas, destacando el papel del selenio en la modulación de la actividad enzimática. En el marco de una estrategia sostenible y de valorización de biomasa, este trabajo se enfoca en la síntesis de nuevos derivados de selenio de LGO con potencial aplicación como inhibidores de ureasa. Para ello, se exploró la adición de Michael de selenolatos generados *in situ* sobre el sistema  $\alpha,\beta$ -insaturado del LGO, identificándose dos metodologías complementarias que permitieron el acceso selectivo a los dos diastereoisómeros que pueden formarse.





La primera metodología consistió en emplear un sistema bifásico EtOAc/HCl<sub>(aq)</sub> en presencia de Zn, que actuó como agente reductor generando selenolatos a partir de diseleniuros, mientras que el medio ácido activaba la superficie metálica y favorecía la adición de Michael. Con este protocolo fueron obtenidos 6 derivados selenados (**3a–f**), indicados en el Esquema 1a. Cabe destacar que esta metodología se desarrolló considerando criterios de química verde, como la reutilización del Zn y el reciclaje del acetato de etilo empleado como solvente, lo que contribuye a disminuir la generación de residuos y el consumo global de reactivos.

Como segunda estrategia se utilizó DMF, rongalita y NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub> con diseleniuros para generar los selenolatos, los cuales reaccionaron con LGO bajo atmósfera inerte y a temperatura ambiente produciéndose 4 derivados seleniados (**4a–d**) indicados en el esquema 1b.



**Esquema 1.** Síntesis de los derivados de selenio usando a) EtOAc/HCl<sub>(aq)</sub>/Zn y b) rongalita.

Una vez obtenida la biblioteca de derivados de selenio de LGO, se evaluó su actividad inhibidora frente a la enzima ureasa. Los compuestos mostraron un amplio rango de potencias (casi dos órdenes de magnitud), evidenciando una fuerte influencia tanto del sustituyente unido al selenio como de la estereoquímica de la adición de Michael.

Entre ellos, los compuestos **3a** y **4a** destacaron por su elevada actividad, con valores de IC<sub>50</sub> de 6,51 y 1,17 μM, respectivamente, superando al inhibidor de referencia, la tiourea (IC<sub>50</sub> = 21,98 μM). En conjunto, estos resultados posicionan a la LGO como una plataforma renovable prometedora para el desarrollo de inhibidores de ureasa basados en selenio, identificando a **3a** y **4a** como candidatos de interés para futuras aplicaciones agrícolas y ambientales.

## Referencias :

Comba, M. B., Tsai, Y., Sarotti, A. M., Mangione, M. I., Suárez, A. G., & Spanevello, R. A. (2018). Levoglucosenone and Its New Applications: Valorization of Cellulose Residues. *European Journal of Organic Chemistry*. 5, 590–604. <https://doi.org/10.1002/ejoc.201701227>

Pava-Gómez, B. E., Guridi, C. C., Mangione, M. I., Sortino, M., Svetaz, L., Suárez, A. G., Sarotti, A. M., & Spanevello, R. A. (2024). A platform chemical from soybean hulls: Unveiling the bioactive effects of levoglucosenone derivatives. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. 42, 101815. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101815>



## Valorización de residuos de baterías de ion-litio para el desarrollo de catalizadores de cobalto activos en la reacción WGS

**Erasmio Arriola-Villaseñor<sup>a\*</sup>, Santiago Bedoya Betancur<sup>b</sup>, Alba N. Ardila A.<sup>c</sup>, Luz Marina Ocampo Carmona<sup>d</sup>**

<sup>a\*</sup>earriola@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia-Medellín, Politécnico Colombiano JIC Medellín

<sup>b</sup>anardila@elpoli.edu.co, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín

<sup>c</sup>sabedoya@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia-Medellín, Politécnico Colombiano JIC Medellín

<sup>d</sup>lmocampo@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia-Medellín

**Palabras clave:** Valorización de residuos; baterías de ion-litio gastadas; catalizadores de Cobalto; Reacción rWGS.

Este estudio presenta la valorización integral de baterías de ion-litio gastadas (LIBs) para desarrollar catalizadores bajo un enfoque de economía circular (Zheng et al., 2023). Se aprovecharon ambos electrodos: el cátodo como fuente de cobalto y el grafito del ánodo como precursor de soportes avanzados y grafeno multicapa. Se sintetizaron las series "Cat" (lixiviación cítrica) y "PRI" (lixiviación sulfúrica) mediante diversos métodos de incorporación metálica. La evaluación en la reacción rWGS demostró que la temperatura es el factor dominante, alcanzando conversiones óptimas de hasta 35% a 500 °C con el material PRI-3. La selectividad hacia CO superó el 95%, confirmando un mecanismo robusto basado en el "auto-acondicionamiento" superficial del metal bajo condiciones reactivas.

La fase activa de cobalto se recuperó de los cátodos de baterías LIBs mediante dos rutas de lixiviación diferenciadas. La serie "Cat" utilizó ácido cítrico como agente extractor, comparando métodos de agitación convencional con lixiviación asistida por sonicación, y empleó técnicas de deposición-precipitación e impregnación húmeda para alcanzar cargas de cobalto entre el 7.8% y el 14.6%. En contraste, la serie "PRI" se desarrolló mediante lixiviación con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> se incluyó una etapa de sonicación post-lixiviación, utilizando el método de deposición húmeda asistida por sonicación para obtener contenidos de metal entre el 4% y el 12%. Esta metodología permite establecer un marco comparativo sobre cómo el origen del precursor, el método de extracción y la ruta de síntesis influyen en el diseño final del catalizador.

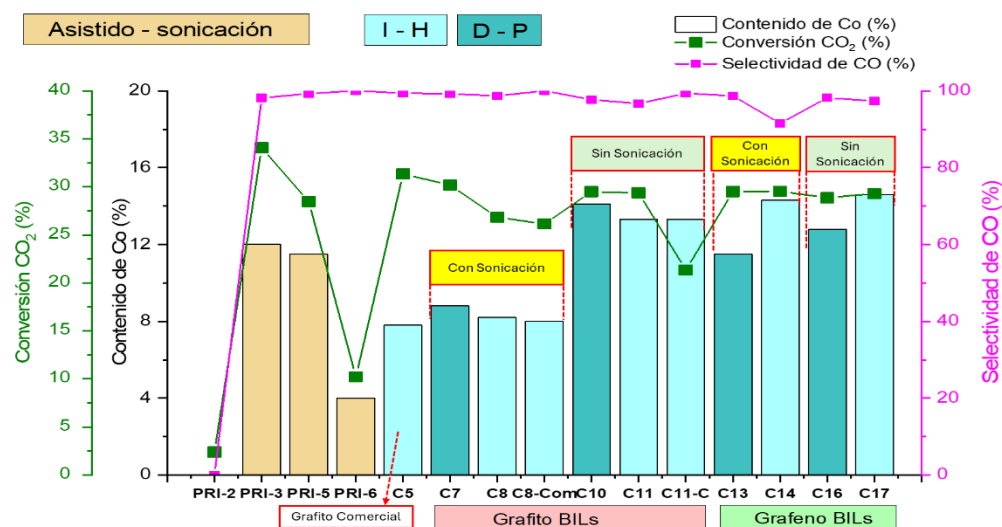
La evaluación catalítica se realizó en la reacción inversa de desplazamiento de gas de agua (rWGS) empleando un reactor de lecho fijo entre 400 y 600 °C. Se alimentó una mezcla gaseosa con una relación molar H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> = 1, diluida en Argón (flujo total de 50 mL/min). Un aspecto crítico del estudio fue la evaluación del estado de oxidación inicial; para algunos materiales se realizaron ensayos tanto con materiales en estado oxidado como con materiales reducidos previamente (500 °C, 2 h, 50% H<sub>2</sub>/Ar).

Los resultados revelaron que el estado inicial no es determinante, ya que el catalizador experimenta un "auto-acondicionamiento" bajo la atmósfera reactiva de H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>, convergiendo hacia un estado superficial dinámico de Co (Co<sup>0</sup> ⇌ CoO ⇌ Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). Los perfiles de actividad muestran que la temperatura es el factor dominante debido a la naturaleza endotérmica de la rWGS. El desempeño óptimo se alcanzó a 500 °C, donde el material PRI-3 destacó con conversiones superiores (34–35%), ligeramente superior (4-7 %) a los materiales de la serie Cat (Miao et al., 2021). En todos los casos, la selectividad hacia CO fue superior al 95% (Figura 1), manteniéndose estable ante variaciones en la carga metálica o el método de síntesis, lo que confirma un mecanismo de reacción robusto (posiblemente vía intermediarios carboxilato) (Kattel et al., 2017) que inhibe la metanación competitiva. Se concluye que el uso de soportes tipo grafeno y precursores recuperados (Sun et al., 2020).



**Tabla 1.** Resumen de los catalizadores sintetizados y sus principales características

| Catalizador  | Extracción del metal                                          | Soporte               | Exfoliación soporte | Síntesis                | Contenido Co (%) |
|--------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|------------------|
| Cat-5        | C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> (sin sonicación) | Grafito comercial     | No                  | I-H                     | 7.8              |
| Cat-7        | C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> + sonicación     | Grafito LIBs          | No                  | D-P                     | 8.8              |
| Cat-8        | C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> + sonicación     | Grafito LIBs          | No                  | I-H                     | 8.3              |
| Cat-10       | C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> (sin sonicación) | Grafito LIBs          | No                  | D-P                     | 14.1             |
| Cat-11       | C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> (sin sonicación) | Grafito LIBs          | No                  | I-H                     | 13.3             |
| Cat-13       | C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> + sonicación     | Grafito LIBs Sonicado | Sí                  | D-P                     | 11.1             |
| Cat-14       | C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> + sonicación     | Grafito LIBs Sonicado | Sí                  | I-H                     | 14.3             |
| Cat-16       | C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> (sin sonicación) | Grafito LIBs Sonicado | Sí                  | D-P                     | 12.8             |
| Cat-17       | C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> (sin sonicación) | Grafito LIBs Sonicado | Sí                  | I-H                     | 14.6             |
| PRI-3, 5 y 6 | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                                | Grafito LIBs Sonicado | post-lixiviación    | Asistido con sonicación | (4-12)           |



**Figura 1.** Resultados de reacción con los diferentes parámetros evaluados a 500°C.

## Referencias

- Kattel, S., Ramírez, P. J., Chen, J. G., Rodriguez, J. A., & Liu, P. (2017). Active sites for CO<sub>2</sub> hydrogenation to methanol on Cu/ZnO catalysts. *Science*, 355(6331), 1296-1299. <https://doi.org/10.1126/science.aal7013>
- Miao, B., Ma, S. S., Wang, X., Su, H., & Chan, S. H. (2021). Catalytic hydrogenation of CO<sub>2</sub> to methane over carbon-supported cobalt-based catalysts. *Applied Catalysis B: Environmental*, 281, 119474. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2020.119474>
- Sun, Y., Dai, C., Peng, X., Si, N., Liu, B., Fu, J., ... & Li, J. (2020). Enhanced CO<sub>2</sub> hydrogenation to CO over a Ni/In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst: the synergistic effect of Ni and oxygen vacancies. *Catalysis Science & Technology*, 10(14), 4615-4625. <https://doi.org/10.1039/D0CY00780G>
- Zheng, X., Gu, S., Liu, Z., & Pan, D. (2023). Efficient recovery of cobalt from spent lithium-ion batteries and its application as a catalyst for CO<sub>2</sub> utilization. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(3), 110245. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110245>



# **Evaluación de las propiedades electroquímicas del biochar en la producción de metano mediante digestión anaeróbica utilizando voltamperometría cíclica.**

Valeria Zuleta Narvaez<sup>a\*</sup>, José Daniel García Jiménez<sup>b</sup>, Juan Diego Otálora Coronado<sup>c</sup>, Mariana Bustamante-Durango<sup>d</sup>, Iván Luis Calderon<sup>e</sup>, Andrés Felipe Gómez<sup>f</sup>, Juan C. Maya<sup>g</sup>

<sup>a\*</sup> vzuleta@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>b</sup> jgarciaji@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>c</sup> judotaloraco@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>d</sup> mabustamantedu@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>e</sup> andfgomezbed@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>f</sup> ivcalderong@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>g</sup> jcmaya@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Medellín

**Palabras clave:** Biochar, capacidad redox, digestión anaeróbica

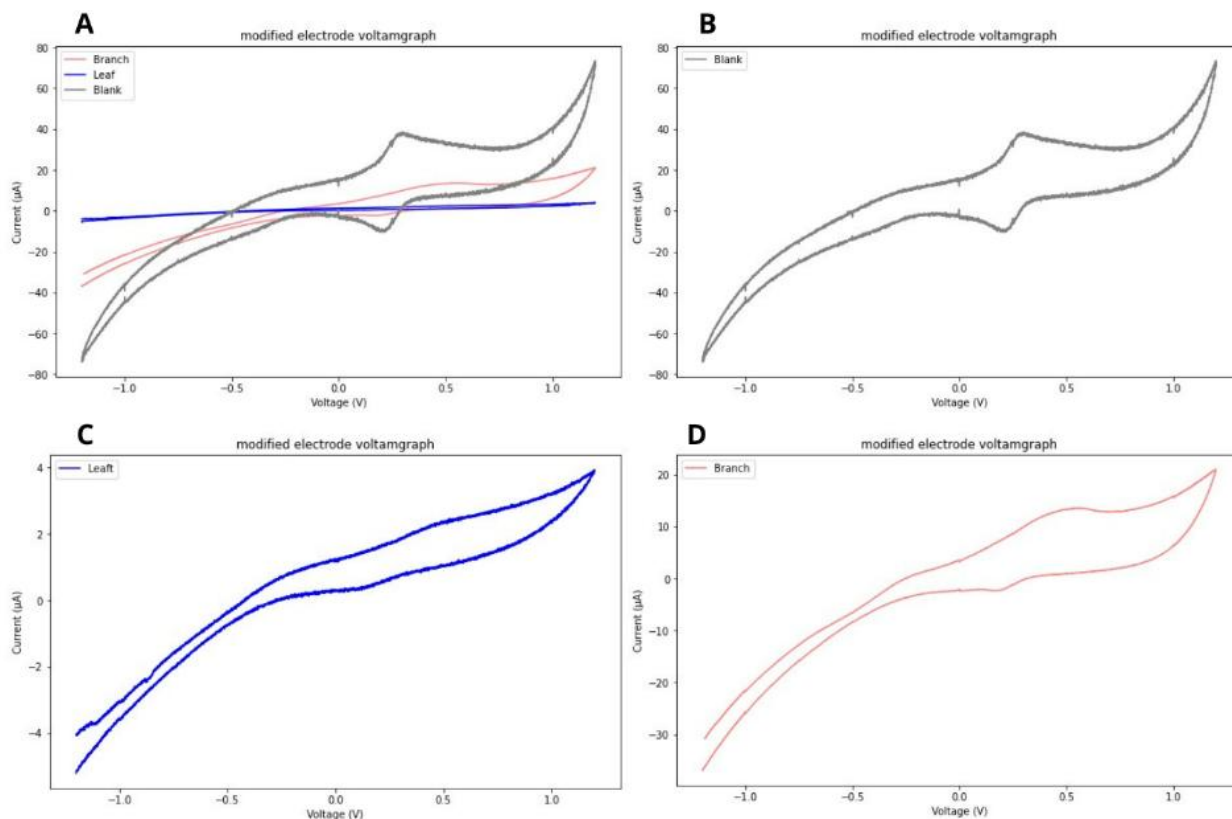
## **Resumen**

La influencia del origen de la biomasa en las propiedades del biochar y su efecto sobre la digestión anaeróbica aún no se comprende completamente. En este estudio, se caracterizaron fisicoquímica y electroquímicamente biochars obtenidos a partir de podas de ramas y hojas, y se evaluó su impacto en la producción de metano. El biochar derivado de ramas presentó mayores contenidos de carbono (58.76 %) y carbono fijo (48.53 %), junto con una menor relación H/C, lo que indica una estructura más aromática y condensada. En contraste, el biochar de hojas mostró un mayor contenido de cenizas (+64 %), una mayor área superficial específica (179.64 m<sup>2</sup>/g) y una mayor abundancia de grupos funcionales oxigenados. A pesar de su menor porosidad, el biochar de ramas evidenció una actividad electroquímica superior en voltametría cíclica, con corrientes redox más elevadas y una histéresis más amplia, lo que sugiere una mayor densidad de sitios redox activos y una mayor capacidad de transferencia electrónica, mientras que la menor respuesta del biochar de hojas puede atribuirse a su alto contenido de cenizas y a la presencia de fases más aislantes.

Durante la digestión anaeróbica, el biochar de ramas incrementó significativamente la producción de metano, alcanzando 56.66 mL CH<sub>4</sub>/g VS, lo que representa un aumento del 75 % respecto al control y 2.5 veces más que el tratamiento con biochar de hojas, además de presentar la mayor tasa de producción de metano (3.8 veces el control). Aunque el biochar de hojas incrementó ligeramente la producción total de biogás, el rendimiento de metano y la cinética fueron considerablemente superiores en el sistema con biochar de ramas, y ambos biochars contribuyeron a mejorar la estabilidad del pH. En conjunto, estos resultados demuestran que las propiedades del biochar, determinadas por el precursor, influyen de manera decisiva en el comportamiento redox y en el desempeño metanogénico, lo que resalta la importancia de la selección de la biomasa para optimizar los sistemas de digestión anaeróbica.







**Figura 1.** Análisis por voltamperometría cíclica (CV). (A) Comparación entre electrodos modificados y no modificados con biochar. (B) Electrodo en blanco/no modificado. (C) Electrodo modificado con biochar de hojas. (D) Electrodo modificado con biochar de ramas.



# **Evaluación de métodos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos reportados para la valorización de residuos de baterías de litio**

**Andres Hernandez Garcia<sup>a</sup>, Andres Cabrera Orozco<sup>b</sup>.**

<sup>a</sup> andhernandezga@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá

<sup>b</sup> ancabreraor@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá,

**Palabras clave** : Pirometalúrgico, Hidrometalúrgico, reciclaje, baterías

## **Resumen**

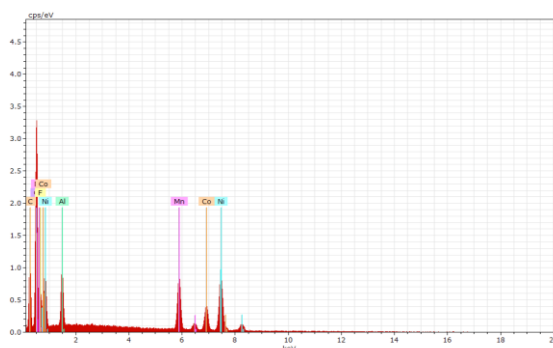
El uso de baterías recargables de ion litio (LIBs) va en aumento a nivel mundial. Se estima que solo en Colombia para 2050 la cantidad de residuos provenientes de las LIBs sea de 601 mil toneladas [1,2], lo cual hace atractiva su valorización desde un punto de vista ecológico y económico. Existen varios métodos reportados para el aprovechamiento de residuos de las LIBs, sin embargo, estos se pueden clasificar en hidrometalúrgico y pirometalúrgico. El reciclaje hidrometalúrgico utiliza solventes acuosos orgánicos e inorgánicos para lixiviar los materiales de interés. Presenta la ventaja de no generar gases de efecto invernadero y producir sales relativamente puras, aunque requiere grandes cantidades de agua. El proceso pirometalúrgico emplea por su parte procesos térmicos con temperaturas superiores a 500°C incluyendo fundición, calcinación, incineración y/o pirólisis. En la fundición se superan los 1.400°C, mientras que los otros procesos ocurren entre 500°C y 1000°C [2,3,4]. En este trabajo se evaluó la replicabilidad y viabilidad de algunos procesos de reciclaje pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos reportados en la literatura para el aprovechamiento de los materiales presentes en los residuos de las LIBs.

Las baterías recolectadas pasaron por un proceso de descarga, desensamble, lavado y secado donde se separaron selectivamente los ánodos, membranas, cátodos y carcasas [2,3,4,5]. En consecuencia, la composición de las baterías se determinó gravimétricamente para el cátodo, ánodo, membrana, carcasa, grafito, cobre y aluminio. Adicionalmente, la cantidad de carbono, oxígeno, cobalto, manganeso, níquel y litio se determinó por absorción atómica y espectroscopia de rayos X (EDX) (tabla 1).

Para el tratamiento de los cátodos se realizaron lixiviaciones con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> con concentraciones entre 0,1M y 2M, así como H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 3%, siguiendo el método de Fang. J, et al. 2022. Se agregaron buffers de H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 2M y NH<sub>4</sub> 0,8 M con el fin de realizar una coprecipitación de los metales del cátodo y extraer selectivamente el litio. En contraposición, siguiendo los métodos propuestos por Yang. X, et al. 2020, al lixiviado se le ajustó el pH con buffer de NH<sub>4</sub> 0,8 M y diferentes sales con el fin de precipitar los cationes de forma selectiva. Finalmente, para el reciclaje del ánodo se siguió el proceso pirometalúrgico reportado por Zheng, Y. et al 2022, el cual consistió en calcinar el ánodo en una mufla con atmósfera de aire a 900°C con el fin de eliminar el grafito y obtener óxido de cobre.

Evaluando la replicabilidad de los diferentes procesos de reciclaje empleados, se concluye que los métodos reportados por Zheng, Y. et al 2022 y por Yang. X, et al. 2020 resultaron replicables para la obtención de óxido de cobre a partir del ánodo y óxidos de manganeso y sales de níquel y cobalto a partir del cátodo respectivamente. En contraposición, el método reportado por Fang. J, et al. 2022, resultó no ser replicable puesto que no se lograron obtener productos con un nivel de pureza aceptable.





**Figura 1.** Espectro EDS del cátodo previo a los procesos hidrometalúrgicos.

**Tabla 1.** Composición % de las baterías de ion litio obtenidas mediante los diferentes análisis y procesos realizados

| <b>Material</b> | <b>%Experimental obtenido de la batería</b> | <b>% De Recuperación</b> |
|-----------------|---------------------------------------------|--------------------------|
| Litio           | 1,6                                         | 63,3                     |
| Cobalto         | 10,3                                        | 50,2                     |
| aluminio        | 6,5                                         | 100,0                    |
| Manganeso       | 1,9                                         | 22,1                     |
| Niquel          | 15,8                                        | 48,52                    |
| Oxigeno         | 5,1                                         | 0,0                      |
| Grafito         | 22,2                                        | 0,0                      |
| Cobre           | 7,7                                         | 100,0                    |
| Carcasa         | 21,4                                        | 100,0                    |
| Membrana        | 5,7                                         | 100,0                    |
| Electrolito     | 1,8                                         | 0,0                      |

[1] Ministerio de Minas y Energía. (2019). *Plan energético nacional 2020-2050: Documento de consulta*. Bogotá, D.C., Colombia.

[2] Da Silva Vasconcelos, D., Tenório, J. A. S., Botelho, A. B., Junior, & Espinosa, D. C. R. (2023). Circular Recycling Strategies for LFP Batteries: A Review Focusing on Hydrometallurgy Sustainable Processing. *Metals*, 13(3), 543. <https://doi.org/10.3390/met13030543>

[3] Fang, J., Ding, Z., Ling, Y., Li, J., Zhuge, X., Luo, Z., Ren, Y., & Luo, K. (2022). Green recycling and regeneration of  $\text{LiNi}_0.5\text{Co}_0.2\text{Mn}_0.3\text{O}_2$  from spent Lithium-ion batteries assisted by sodium sulfate electrolysis. *Chemical Engineering Journal*, 440, 135880. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.135880>

[4] Yang, X., Zhang, Y., Meng, Q., Dong, P., Ning, P., & Li, Q. (2020). Recovery of valuable metals from mixed spent lithium-ion batteries by multi-step directional precipitation. *RSC Advances*, 11(1), 268–277. <https://doi.org/10.1039/d0ra09297e>

[5]Zheng, Y., Shao, P., Yang, L., Huang, Y., Zhang, H., Fang, L., Qiu, C., Tang, H., Shao, J., & Luo, X. (2022). Gas exchange-driven carbothermal reduction for simultaneous lithium extraction from anode and cathode scraps. *Resources Conservation and Recycling*, 188, 106696. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106696>



## Adsorción de naranja de metilo en soluciones acuosas mediante carbones activos obtenidos a partir de los residuos de sachá inchi

David Hernández<sup>a\*</sup>, Helena García-Rosero<sup>b</sup>, Nelson O. Briceño Gamba<sup>c</sup>

<sup>a</sup> david.hernandez.vargas@unillanos.edu.co, Unillanos, Villavicencio

<sup>b</sup> mhgarcia@unillanos.edu.co, Unillanos, Villavicencio

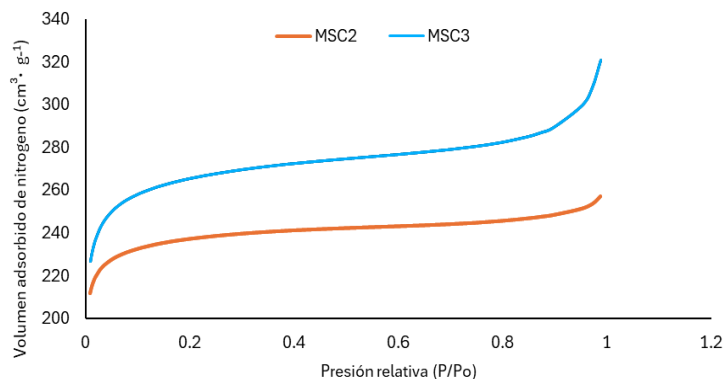
<sup>c</sup> nbriceno@unillanos.edu.co, Unillanos, Villavicencio

**Palabras clave:** Residuos agroindustriales, *Plukenetia volubilis*, Carbones activados, valorización, material adsorbente.

### Resumen

La sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) es una planta oleaginosa del Amazonas, cuya creciente industria de aceite proyecta un crecimiento anual del 4,6 % hacia 2028, la extracción de este aceite genera un volumen algunos residuos como la cáscara y cascarilla que representan alrededor 75,50 % del fruto. Estos residuos pueden causar impactos ambientales negativos, sin embargo, al estar constituidos de biopolímeros como celulosa, hemicelulosa y lignina pueden ser precursores de materiales carbonosos útiles en proceso de adsorción de contaminantes como los colorantes azoicos mitigando así los riesgos toxicológicos y ecosistémicos derivados de los vertimientos industriales en matrices acuosas de colorantes como el naranja de metilo. La reincorporación de estos residuos agroindustriales en procesos de valorización representan una iniciativa para la implementación de la bioeconomía en la cadena productiva, evitando el desperdicio de recursos y a su vez emplearse para satisfacer necesidades actuales (Sharma & Malaviya, 2023), lo cual se alinea con el propósito del presente trabajo, en donde se obtuvieron dos carbones activos por activación química con KOH, denominados MSC2 Y MSC3 con relaciones de impregnación 1:2 y 1:3 (800 °C, 1h, 10 °C min<sup>-1</sup>) los cuales se neutralizaron con una solución ácida con el fin de remover impurezas como cenizas y exceso de agente activante que puede obstruir parte de la red porosa del material.

Los materiales MSC2 y MSC3 se caracterizaron mediante análisis texturales con isoterma de adsorción de nitrógeno a 77 K, reportando isoterma Tipo I según la IUPAC (Figura 1) lo que indica una estructura predominantemente microporosa; el desarrollo textural obtenido sugiere accesibilidad para el naranja de metilo (1,5 a 2,0 nm), adicionalmente el área superficial BET de los materiales correspondieron a 970,0 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup> para MSC2 y 1085 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup> para MSC3, con áreas microporosas de 635,0 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup> y 709,0 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup> para cada material como se consolida en la tabla 1. Estas áreas son consistentes con el promedio reportado de alrededor de 1076 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup> de otros carbones activados a partir de residuos agroindustriales que se han empleado para la adsorción del naranja de metilo (Cherdoud et al., 2023).



**Figura 1.** Isoterma de adsorción de nitrógeno de los carbones activados de cáscara y cascarilla de sachá inchi





**Tabla 1.** Resultados del análisis textural de los carbones activados

| Nombre de muestra | Tipo de isoterma | BET ( $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ ) | Smicro ( $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ ) |
|-------------------|------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>MSC3</b>       | <b>I</b>         | <b>1085</b>                            | <b>709</b>                                |
| <b>MSC2</b>       | <b>I</b>         | <b>970</b>                             | <b>635</b>                                |

El contenido elemental (CHNSO) de los carbones activados, reportaron en la muestra MSC2 77,33% de C; 21,58% de O, 0,9% de H y 0,19% de N con relaciones atómicas de O/C 0,21 y H/C 0,14, mientras que la muestra MSC3 se obtuvieron valores de 66,48% de C, 32,60% de O, 0,68% de H y 0,24% de N y relaciones atómicas de O/C 0,37 y H/C 0,12. La baja relación atómica H/C para los materiales se debe a la aromatización de estos, mientras que la significativa relación atómica O/C se correlaciona con grupo oxigenados superficiales como hidroxilos y carboxilos dado que activación con KOH favorece la incorporación de estos grupos funcionales; adicionalmente se evidencia una disminución en el porcentaje de carbono y nitrógeno al aumentar la relación de activación, a lo que puede asociarse con reacciones promovidas por el KOH durante el proceso de activación con la estructura C-N y C-O, liberando gases como nitrógeno en su forma diatómica, cianuro de hidrógeno, monóxido de carbono o dióxido de carbono; por último se considera que la presencia de nitrógeno puede ser debido a grupos nitrogenados como piridina, nitrógeno pirrólico y grafitico (Wabo & Klepel, 2021).

Los carbones activados MSC2 y MSC3 se evaluaron en ensayos de adsorción bajo agitación controlada durante 1, 3 y 6 h. En la primera hora, se alcanzó una remoción de  $46,77 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  para MSC3 y  $34,71 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  para MSC2. Al incrementar el tiempo de contacto a 3 h, la capacidad de adsorción aumentó a  $63,95 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  y  $42,20 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , respectivamente. Finalmente, al tiempo máximo de 6 h, se obtuvieron valores de  $70,66 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  para MSC3 y  $46,36 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  para MSC2, demostrando que la capacidad de adsorción incrementa con respecto al tiempo de contacto de los materiales, además que el material MSC3 tiene mayor capacidad de adsorción que el material MSC2, por la diferencia del área de ambos materiales. Se propone evaluar la regeneración de los materiales y su desempeño en matrices acuosas reales para verificar su aplicabilidad a escala.

## Referencias

- Wabo, S. G., & Klepel, O. (2021). Nitrogen release and pore formation through KOH activation of nitrogen-doped carbon materials: an evaluation of the literature. *Carbon Letters*, 31(4), 581-592.
- Cherdoud, F., Khelifi, S., & Reffas, A. (2023). Activated carbons developed from Algerian agro-waste of palm trunk fiber: Characterization and adsorptive capacity for azo dyes removal. *Desalination and Water Treatment*, 311, 118-134.



## Fotocatalizadores de ZnO modificados con puntos cuánticos de carbono derivados de cascarilla de café para la degradación de cafeína.

Valentina Ospina<sup>a</sup>, Nancy Acelas<sup>b</sup>, Angélica Forgionny<sup>c</sup>

<sup>a</sup> vospina224@soyudemedllin.edu.co, Universidad de Medellín, Medellín, Colombia

<sup>b</sup> nyacelas@udemedelli.edu.co, Universidad de Medellín, Medellín, Colombia

<sup>c</sup> mforgionny@udemedllin.edu.co, Universidad de Medellín, Medellín, Colombia

**Palabras clave :** Fotocatálisis; puntos cuánticos de carbono; ZnO; cafeína; cascarilla de café.

### Resumen

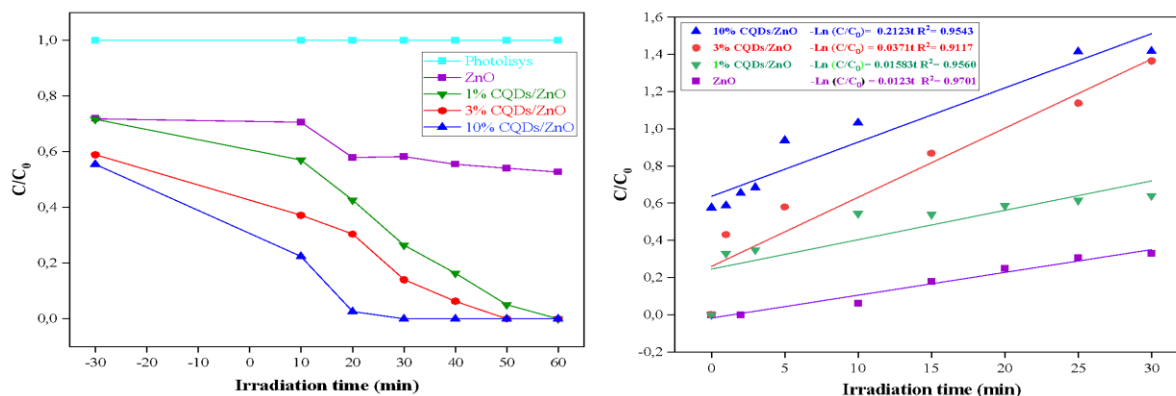
La cafeína es un contaminante emergente persistente detectado en aguas superficiales y subterráneas, con toxicidad acuática incluso a concentraciones de  $\mu\text{g/L}$  y resistente a los tratamientos convencionales (Buerge et al., 2003). Su valorización como modelo de contaminante en sistemas fotocatalíticos a partir de residuos agroindustriales, como la cascarilla de café, abre perspectivas de aplicación industrial sostenible y extensible a otros micropolutantes emergentes (Karmee, 2015). En este contexto, la fotocatalisis heterogénea surge como alternativa prometedora para mineralizar contaminantes orgánicos recalcitrantes sin generar subproductos tóxicos.

El óxido de zinc (ZnO) es un semiconductor ampliamente usado en fotocatalisis por su alta actividad bajo irradiación UV, no toxicidad y bajo costo (Danwittayakul et al., 2015), pero su eficiencia se ve limitada por la rápida recombinación de pares electrón-hueco fotogenerados. Para superar esta limitación, se incorporaron puntos cuánticos de carbono (CQDs) como sensibilizadores, estos actúan como aceptores de electrones y amplían el espectro de absorción del semiconductor (Zhao et al., 2022). Los CQDs se sintetizaron por tratamiento hidrotermal ( $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 12 h) a partir de cascarilla de café pretratada con HCl 1 M, sonicada 4 h, junto con urea en agua desionizada; el sobrenadante filtrado ( $0,22\text{ }\mu\text{m}$ ) se secó para obtener los CQDs. Los fotocatalizadores CQDs/ZnO se prepararon con cargas de 1, 3, 5 y 10% p/p mediante sonicación en etanol (1 h), evaporación a  $78\text{ }^{\circ}\text{C}$  y pirólisis bajo  $\text{N}_2$  a  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  (rampa  $5\text{ }^{\circ}\text{C/min}$ , isoterma 3 h).

La actividad fotocatalítica se evaluó con soluciones de cafeína ( $10\text{ mg L}^{-1}$ , pH 6,4, 300 rpm,  $0,4\text{ mg/mL}$ ), precedidas de 30 min de adsorción en oscuridad, y monitoreada a 271 nm por espectrofotometría UV-vis. Se estudiaron los efectos de dosis de catalizador ( $0,026\text{--}0,505\text{ g/L}$ ), pH ( $2\text{--}10$ ) y concentración inicial ( $5\text{--}20\text{ mg/L}$ ). Los materiales se caracterizaron por FTIR y se realizaron pruebas de reúso (3 ciclos) y ensayos de fitotoxicidad con semillas de lechuga.

Como se ilustra en la Figura 1, el fotocatalizador 10% CQDs/ZnO alcanzó una degradación del 97% en solo 20 min de irradiación UV-A, superando al ZnO puro (45% en 60 min). La Tabla 1 resume las constantes cinéticas obtenidas. La mejora se atribuye a que los CQDs retardan la recombinación electrón-hueco y amplían la absorción de luz del semiconductor (Zhao et al., 2022). El efecto de la dosis mostró un óptimo en  $0,015\text{ g}$  ( $0,3\text{ mg/mL}$ ); por encima de este valor la eficiencia no mejora por fenómenos de pantalla óptica. La mayor actividad se registró cerca del pH natural de la solución (pH  $\sim 6,4$ ); en condiciones extremas (pH 2 o pH 10) la eficiencia disminuyó por cambios en la especiación superficial del ZnO. Los ensayos con scavengers confirmaron que los radicales  $\cdot\text{OH}$  y los huecos fotogenerados ( $\text{h}^+$ ) son las especies reactivas dominantes. El material conservó más del 85% de su actividad inicial tras tres ciclos consecutivos, y el efluente tratado no presentó fitotoxicidad, a diferencia de la solución de cafeína sin tratar. Estos resultados demuestran el potencial del fotocatalizador CQDs/ZnO derivado de residuos de café como alternativa sostenible y escalable para el tratamiento de aguas contaminadas con cafeína y, prospectivamente, con otros contaminantes emergentes de estructura similar.





**Figura 1.** Degradación fotocatalítica de cafeína (10 mg/L, pH 6,4, 300 rpm, 0,4 mg/mL) con ZnO y fotocatalizadores CQDs/ZnO bajo irradiación UV-A: (A) perfiles  $C/C_0$  vs. tiempo y (B) ajuste cinético.

**Tabla 1.** Constantes cinéticas para la degradación fotocatalítica de cafeína con los fotocatalizadores evaluados.

| Fotocatalizador | k<br>( $\text{min}^{-1}$ ) | R <sup>2</sup> | Degradación<br>(%) | t (min) |
|-----------------|----------------------------|----------------|--------------------|---------|
| ZnO             | 0,0123                     | 0,9701         | 45                 | 60      |
| 1% CQDs/ZnO     | 0,0138                     | 0,9568         | 60                 | 60      |
| 3% CQDs/ZnO     | 0,0371                     | 0,9117         | 98                 | 60      |
| 10% CQDs/ZnO    | 0,2123                     | 0,9543         | 97                 | 20      |

## Referencias

- Buerge, I. J., Poiger, T., Müller, M. D., & Buser, H.-R. (2003). Environmental Science & Technology, 37(4), 691–700. <https://doi.org/10.1021/es020125z>
- Karmee, S. K. (2015). Fuel Processing Technology, 138, 513–517. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.06.042>
- Danwittayakul, S., Jaisai, M., & Dutta, J. (2015). Applied Catalysis B: Environmental, 163, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2014.07.020>
- Zhao, S., Zhang, M., Wang, X., & Li, Y. (2022). Journal of Alloys and Compounds, 890, 161896. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.161896>



# Influencia del contenido de zinc en el desempeño de ánodos ZnO–ZnS/carbón activado en celdas de combustible microfluídicas alimentadas con alcohol

Marta Mediavilla<sup>a,b,\*</sup>, Andrés Dector<sup>c</sup>, Juan M. Olivares-Ramírez<sup>d</sup>, Diana M. Amaya-Cruz<sup>e</sup>, Aída Luz Villa<sup>f</sup>

<sup>a</sup>qmart338@gmail.com, *Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia*

<sup>b</sup>qmart338@gmail.com, *Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela*

<sup>c</sup>andres\_dector@live.com, *Universidad Tecnológica de San Juan del Río, San Juan del Río, México*

<sup>d</sup>jmolivaresr@utsjr.edu.mx, *Universidad Tecnológica de San Juan del Río, San Juan del Río, México*

<sup>e</sup>diana.amaya@uaq.mx, *Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.*

<sup>f</sup>aida.villa@udea.edu.co, *Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia*

**Palabras clave:** carbón activado, contenido de zinc, Celdas microfluídicas, ánodos

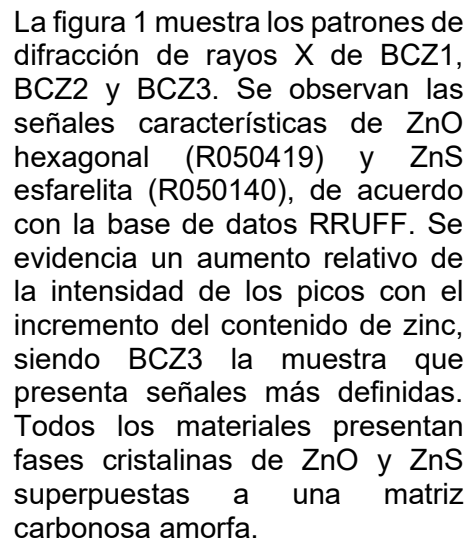
## Resumen

En el contexto actual de transición energética el desarrollo de sistemas portátiles, sostenibles y de bajo costo es fundamental. Las celdas de combustible microfluídicas representan una alternativa prometedora dada su simplicidad, bajo consumo de reactivos y facilidad de integración en dispositivos compactos (Tanveer et al., 2022). Las investigaciones recientes destacan el desarrollo de materiales de carbono poroso y catalizadores derivados de estructuras metalorgánicas como alternativas eficientes para la reacción de reducción de oxígeno en celdas de combustible microbianas (Shokri et al., 2025). El rendimiento de las celdas de combustible microfluídicas depende de las propiedades del material del ánodo, donde ocurre la oxidación del combustible. Aunque los materiales carbonosos han sido ampliamente estudiados como componentes de electrodos (Escobar-Terán et al., 2023), su aplicación en celdas de combustible microfluídicas basadas en papel sigue siendo poco explorada. Partiendo de este enfoque, en este trabajo se desarrolló un material híbrido ZnO–ZnS/C con el objetivo de evaluar su desempeño como electrocatalizador en medio ácido utilizando distintos alcoholes como combustible.

Para la preparación del material, cáscara de banano pulverizada se mezcló con agua y se sometió a un tratamiento por microondas. El sólido obtenido se impregnó con  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  en diferentes relaciones zinc:biomasa (1:2, 1:1 y 2:1) y se agitó por 24 h a temperatura ambiente. Finalmente, los sólidos se pirolizaron bajo  $\text{N}_2$  a 500 °C por 1 h, se lavaron, se secaron y se tamizaron, obteniéndose los materiales BCZ1, BCZ2 y BCZ3. La celda microfluídica basada en papel se evaluó utilizando como combustibles: etanol en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.5 M, tequila y aguardiente antioqueño. Se depositaron aproximadamente 35  $\mu\text{L}$  en la punta de la tira de papel y se midió el voltaje de circuito abierto (OCV) una vez el combustible humedecía los electrodos. Posteriormente, se realizó voltametría lineal desde el OCV máximo hasta cero voltios, calculando la densidad de corriente y potencia con base en un área de electrodo de 0.25  $\text{cm}^2$ .







En la Tabla 1 se muestran los valores del desempeño electroquímico de la celda microfluídica para los diferentes alcoholes usados. Se observa que el sólido BCZ2 alcanza los valores más altos de potencia en todos los combustibles evaluados, por lo que se considera que este sólido se destaca por su mayor desempeño electroquímico. El uso de tequila produce mayores densidades de potencia que el aguardiente antioqueño; probablemente debido a su mayor contenido de etanol 35% v/v y 29% v/v, respectivamente. En el caso del etanol puro, los valores son más bajos en comparación con las bebidas, evidenciando la contribución de otros componentes en la matriz compleja. Estos resultados confirman que la composición del ánodo y del combustible influye significativamente en el rendimiento del dispositivo.

| Combustible               | Concentración<br>(M) | BCZ1<br>(mVcm <sup>-2</sup> ) | BCZ2<br>(mVcm <sup>-2</sup> ) | BCZ3<br>(mVcm <sup>-2</sup> ) |
|---------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Etanol                    | 1.5                  | 0.00476                       | 0.08950                       | 0.00449                       |
| Tequila                   | 5.0*                 | 0.02697                       | 0.22436                       | 0.03121                       |
| Aguardiente<br>antioqueño | 6.0*                 | 0.00820                       | 0.21422                       | 0.01292                       |

### Referencias:

- Escobar-Terán, F., Perrot, H., & Sel, O. (2023). *Physchem*, 3(3), 355–384. doi:  
<https://doi.org/10.3390/physchem3030025>.
- Shokri, A. D., Aber, S., Teimuri-Mofrad, R., & Rezaei, A. (2025). *Energy & Fuels*, 39(50), 23662–23674. doi:  
10.1021/acs.energyfuels.5c04399.
- Tanveer, M., Ambreen, T., Khan, H., Kim, G. M., & Park, C. W. (2022). *Energy Conversion and Management*, 264, 115732. doi:10.1016/j.enconman.2022.115732.

## Análisis del fraguado de pastas de cemento elaboradas con cenizas de semilla de aguacate

Yuseth Paola Ibarguen Ordoñez<sup>a\*</sup>, Ana María Zapata Navarro<sup>b</sup>, Marisol Torres Alvarez<sup>c</sup>, María Isabel Mejía Correa<sup>d</sup>

<sup>a</sup> yibarguen859@soyudemedellin.edu.co, Universidad de Medellín, Medellín-Antioquia

<sup>b</sup> azapata202@soyudemedellin.edu.co, Universidad de Medellín, Medellín-Antioquia

<sup>c</sup> mtorres541@soyudemedellin.edu.co, Universidad de Medellín, Medellín-Antioquia

<sup>d</sup> mimejia@udemedellin.edu.co, Universidad de Medellín, Medellín-Antioquia

**Palabras claves:** Semilla de aguacate, Pasta de cemento, Fraguado, Valorización de residuos.

### Resumen:

La industria cementera es responsable de cerca del 8 % de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>. Colombia no está exenta del problema y genera aproximadamente 600 kg de CO<sub>2</sub> por cada tonelada de cemento producido. Ante este impacto, se han propuesto alternativas como el uso de residuos orgánicos para sustituir parcialmente el cemento (Pontificia Universidad Javeriana, s.f.).

Este trabajo plantea el uso de residuos orgánicos como una alternativa sostenible para reducir el impacto ambiental en la producción de cemento (International Energy Agency, 2025).

En este estudio se evaluaron cenizas obtenidas de semilla de aguacate. El residuo fue recolectado, acondicionado mediante rallado para homogeneizar el tamaño de partícula, secado a 105 °C durante 24 horas y posteriormente calcinado a 500 °C durante 2 horas. La ceniza resultante se molió, tamizó y almacenó para su caracterización.

Se prepararon diferentes mezclas para analizar su comportamiento, incluyendo: M1 (3 g de ceniza de aguacate, 3 g de arena y 1 mL de agua), M2 (2 g de ceniza, 4 g de arena y 1 mL de agua), M3 (2 g de ceniza, 1 g de arena, 1 g de cemento y 0.5 mL de agua) y M4 (2 g de ceniza, 1 g de arena y 0.5 mL de agua). A partir de estas composiciones, se evaluó el porcentaje de material que atravesó las mallas 100 y 200. Adicionalmente, se elaboraron pastas de cemento con una relación agua/material cementante de 0.4, incluyendo una muestra de control y otra con sustitución del 5 % de cemento por ceniza de aguacate. Finalmente, se analizaron sus tiempos de fraguado mediante ensayos estandarizados.

En síntesis, los resultados preliminares indican que la ceniza de semilla de aguacate presenta una eficiencia de calcinación del 9.55 %. En cuanto al fraguado, la pasta con 5 % de sustitución registró un tiempo inicial de 4.04 h y final de 4.29 h, valores muy cercanos a los del cemento control (4.04 h y 4.54 h, respectivamente), lo que demuestra que su incorporación no altera significativamente las propiedades de fraguado. Estos hallazgos confirman el potencial técnico y ambiental de la ceniza de aguacate como sustituto parcial del cemento, contribuyendo a la valorización de un residuo agroindustrial abundante y a la mitigación de la huella de carbono en la construcción.



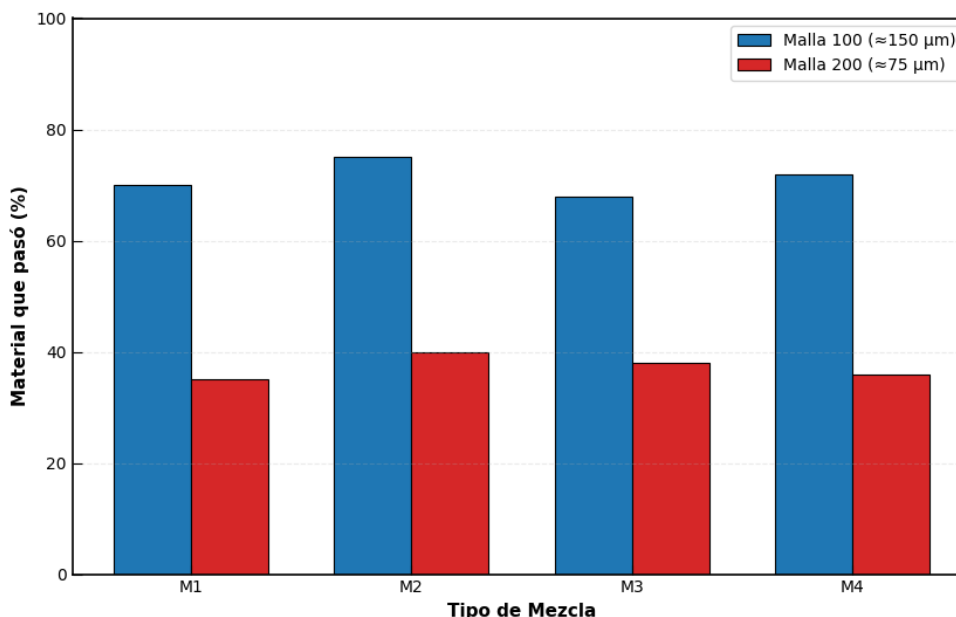


Figura 1. Porcentaje de material que atravesó las mallas 100 y 200 según composición de la mezcla.

## Referencias:

Pontificia Universidad Javeriana. (s.f.). *Documento académico*. Recuperado de: <https://apidspace.javeriana.edu.co/server/api/core/bitstreams/4e62db80-8438-4417-89b2-3ba4088ae9e4/content>

International Energy Agency (IEA). (2025). *Cement and concrete*. En *Breakthrough Agenda Report 2025*. IEA. <https://www.iea.org/reports/breakthrough-agenda-report-2025/cement-and-concrete>

Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). (s.f.). *Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA)*. <https://www.iaea.org/es/el-oiea/agencia-internacional-de-energias-renovables-irena>



**Producción de celulosa y carbón activado a partir de residuos del procesamiento del aceite de palma y su aplicación en la remoción de contaminantes en agua.**

Marta Mediavilla<sup>a,b\*</sup>, Luis Fernando Valenciar<sup>c</sup>, Ainhoa Rubio-Clemente<sup>d</sup>, Aida Luz Villa<sup>e</sup>

<sup>a</sup>gmarta338@gmail.com, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

<sup>b</sup>qmarta338@gmail.com, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela

*luis.valenciad@udea.edu.co, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia*

<sup>d</sup>ainhoa.rubioc@udea.edu.co, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

<sup>e</sup>aida.villa@udea.edu.co, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

**Palabras clave:** carbón activado, celulosa, azul de metileno, sostenibilidad

## Resumen

Las descargas de aguas residuales domésticas y los efluentes industriales provocan la liberación constante de una gran diversidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos en los ecosistemas acuáticos. Dentro de estos, los colorantes sintéticos representan una preocupación significativa debido a su uso extendido en sectores como el textil, cuero, papel, cosmético y de procesamiento de alimentos (Dutta et al., 2024). En particular, la industria textil, con un crecimiento anual del 8,13 %, se estima que descarga cerca de 280.000 toneladas de colorantes en cuerpos de agua cada año. En la búsqueda de materiales adsorbentes alternativos y sostenibles, se han propuesto los derivados de la biomasa agrícola lignocelulósica. Estos materiales de origen biológico ofrecen una materia prima renovable y de bajo coste, con una porosidad inherente y unas propiedades superficiales que pueden ajustarse mediante activación física y química para mejorar el rendimiento de adsorción (El Meziani et al., 2025).

En esta investigación se transformaron residuos provenientes del procesamiento de aceite de palma en productos de alto valor agregado como celulosa y carbón activado. El proceso de extracción de celulosa se realizó mediante tratamiento alcalino con hidróxido de sodio (NaOH) a 2 % p/p y proceso de blanqueamiento usando clorito de sodio (NaClO<sub>2</sub>) y ácido acético (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>). Posteriormente, el material obtenido se caracterizó mediante análisis DRX y TGA. Adicionalmente, la síntesis de carbón activado a partir de diferentes residuos agroindustriales del procesamiento de aceite de palma (hojas, raquis y cuesco) se realizó mediante un proceso de activación química con hidróxido de potasio (KOH) con una relación másica KOH:biomasa de 0,5:1 durante 1 h a temperatura ambiente, luego se pirolizó a 500 °C durante 1 h con un flujo de nitrógeno (N<sub>2</sub>) de 100 cm<sup>3</sup>/min. Los carbones activados se caracterizaron mediante análisis de adsorción y desorción de nitrógeno en un solo punto. Se mezclaron 50 mL de solución de azul de metileno con el material sólido correspondiente y las suspensiones se agitaron a 500 rpm a temperatura ambiente por 8 h. El análisis del sobrenadante se realizó mediante espectrofotometría UV-Vis a 664 nm.

La figura 1a muestra el difractograma obtenido para la celulosa de la fibra, las señales ubicadas aproximadamente en  $2\theta = 15,84^\circ$ ,  $22,14^\circ$  y  $35,1^\circ$ , pueden asociarse a los planos (110), (200) y (004), respectivamente, lo que confirma la presencia de celulosa tipo I (Nang An et al., 2020). El índice de cristalinidad calculado fue del 60%, indicando que los tratamientos químicos aplicados fueron efectivos en la eliminación de las fracciones amorfas, principalmente hemicelulosa y lignina, lo que respalda su potencial uso en aplicaciones donde se requieran materiales con cierto orden estructural. En el espectro infrarrojo de este material mostrado en la figura 1b se observan señales de vibración de grupos O–H ( $3340\text{ cm}^{-1}$ ), los estiramientos C–O–C ( $1156\text{--}1159\text{ cm}^{-1}$ ) y la vibración característica C–H a  $896\text{ cm}^{-1}$ , indicativa de su estructura  $\beta$ -glucosídica.

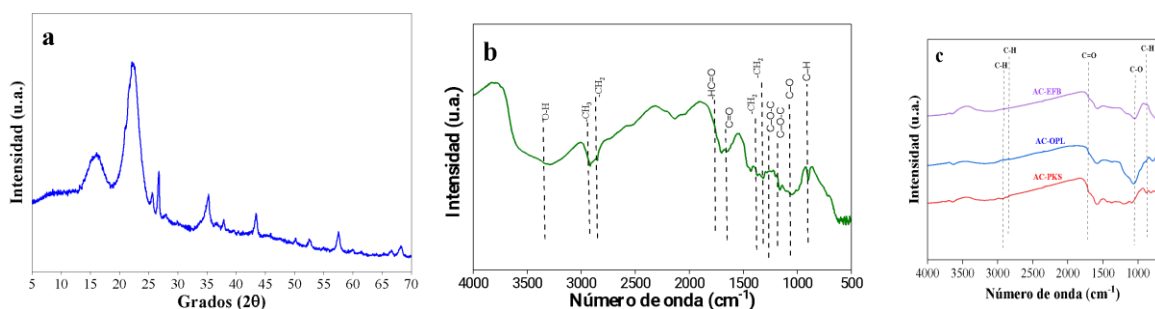




En la Tabla 1 se muestran los valores de área superficial específica de los carbones activados provenientes de hojas, raquis y cuesco. Aunque existen diferencias en el área superficial para los diferentes residuos, se observan similitudes en cuanto a la remoción del contaminante objeto de estudio a 8 h de contacto con el carbón activado. Esto se atribuye a que los materiales presentan señales similares en grupo funcionales identificados por FTIR, tales como C=C aromáticos ( $1578\text{ cm}^{-1}$ ), C=O ( $1743\text{ cm}^{-1}$ ) y C–O ( $1062\text{ cm}^{-1}$ ) que actúan como sitios activos para la adsorción de colorantes catiónicos.

**Tabla 1.** Propiedades texturales y eficiencia de absorción de los carbones activados.

| Biomasa | Carbón activado | $S_{\text{BET}}$ ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) | Remoción de azul de metileno (%) |
|---------|-----------------|--------------------------------------------|----------------------------------|
| Hojas   | AC-OPL          | 105                                        | 89                               |
| Raquis  | AC-EFB          | 280                                        | 95                               |
| Cuesco  | AC-PKS          | 142                                        | 91                               |



**Figura 1.** Caracterización de celulosa y carbón activado. DRX de celulosa obtenida de fibra (a), FTIR de celulosa (b) y FTIR de carbón activado (c).

## Referencias:

- Dutta, S., Adhikary, S., Bhattacharya, S., Roy, D., Chatterjee, S., Chakraborty, A., Banerjee, D., Ganguly, A., Nanda, S., & Rajak, P. (2024). *Journal of Environmental Management*, 353, 120103. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2024.120103>
- El Meziani, S., Agnaou, H., El Haddaj, H., Boumya, W., Barka, N., & Elhalil, A. (2025). *Cleaner Chemical Engineering*, 12, 100210. <https://doi.org/10.1016/J.CLCE.2025.100210>
- Nang An, V., Chi Nhan, H. T., Tap, T. D., Van, T. T. T., Van Viet, P., & Van Hieu, L. (2020). *Journal of Polymers and the Environment* 2020 28:5, 28(5), 1465–1474. <https://doi.org/10.1007/S10924-020-01695-X>



# Influencia del tratamiento alcalino en las propiedades físicas de biomateriales obtenidos a partir de pulpa de papel reciclado

Andrea Carolina Pizarro Romero<sup>a\*</sup>, Valery Lozano Beltrán, Valentina Márquez Quintero<sup>c</sup>, María Isabel Mejía Correa<sup>d</sup>.

<sup>a</sup>apizarro664@soyudemedellin.edu.co, Universidad de Medellín, Medellín

<sup>b</sup>vlozano234@soyudemedellin.edu.co, Universidad de Medellín, Medellín

<sup>c</sup>vmarquez635@soyudemedellin.edu.co, Universidad de Medellín, Medellín

<sup>d</sup>mimejia@udemedellin.edu.co, Universidad de Medellín, Medellín

**Palabras clave:** Celulosa lignocelulósica, tratamiento alcalino, biomateriales, economía circular

## Resumen

El estudio sobre el aprovechamiento de residuos de papel se centra en la valorización de la celulosa proveniente de residuos orgánicos e industriales como materia prima para la elaboración de biomateriales, en el marco de la economía circular. Se parte del reconocimiento de que una gran proporción del papel producido a nivel mundial no se recicla adecuadamente, lo que representa tanto un problema ambiental como una pérdida de recursos valiosos (Ahmad et al., 2026). Al ser este un material rico en celulosa, un polímero natural, presenta un alto potencial para su transformación en nuevos productos, como biomateriales, bioplásticos o compuestos funcionales, consolidándose como un recurso estratégico dentro de la economía circular (Mergbi et al., 2023).

El proyecto tiene como objetivo evaluar la influencia del tratamiento alcalino en las propiedades físicas de biomateriales obtenidos a partir de pulpa de papel reciclado. Para ello, se desarrolló un proceso experimental en el que se prepararon tres muestras (1, 2 y 3), manteniendo constantes la cantidad de materia prima (15 g) y el volumen de agua destilada (200 mL), mientras que se varió la concentración de hidróxido de sodio (NaOH) (4.17 g, 10.13 g y 16.03 g, respectivamente). La pulpa fue sometida a procesos de mezcla, homogenización y conformado en láminas, seguidos de secado, con el fin de evaluar la influencia del tratamiento químico en la estructura del material.

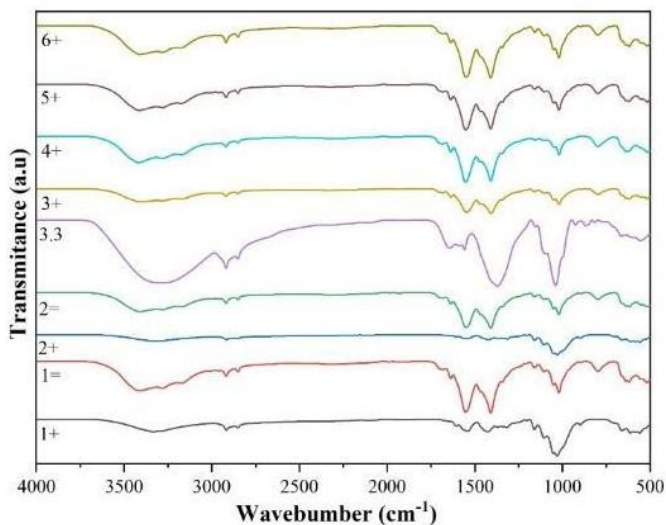
Los resultados evidenciaron que la concentración de NaOH tiene una influencia directa en las propiedades del biomaterial, favoreciendo la compactación y uniformidad del material; sin embargo, concentraciones elevadas incrementan la rigidez con tendencia a fragilidad. La muestra con una concentración de 4.17 g de NaOH presentó menor cohesión y mayor heterogeneidad estructural; en contraste, las muestras con 10.13 g y 16.03 g de NaOH mostraron un mejor desempeño mientras que la de 16.03 g presentó mayor rigidez, con tendencia a fragilidad. Asimismo, se observó que es posible obtener materiales más delgados y con buena resistencia mecánica utilizando cantidades moderadas de materia prima, lo que optimiza el uso del recurso y mejora la eficiencia del proceso.

La caracterización por espectroscopía infrarroja (FTIR) mostró cambios en las bandas características asociadas a grupos funcionales presentes en la biomasa. En particular, las señales correspondientes a los grupos hidroxilo (O–H), enlaces C–H y estructuras asociadas a compuestos aromáticos, mostraron variaciones en intensidad y forma, lo que sugiere la remoción parcial de lignina y hemicelulosas, así como una mayor exposición de la celulosa. Adicionalmente, se evidenció que las muestras tratadas con concentraciones moderadas de NaOH presentaron una estructura más homogénea y definida, mientras que concentraciones más elevadas generaron alteraciones más marcadas en las bandas espectrales, indicando posibles procesos de degradación parcial del material. Estos resultados se correlacionan con las observaciones físicas, donde se identificaron cambios en la rigidez, textura y cohesión de las muestras.

En conjunto, los resultados experimentales y el análisis FTIR permiten establecer una relación directa entre las condiciones de tratamiento y la modificación estructural del material, evidenciando que el proceso



implementado no solo transforma físicamente la pulpa de papel, sino que también induce cambios químicos relevantes que respaldan su potencial como biomaterial sostenible. Asimismo, se evidencia que la optimización de variables como la concentración de NaOH es clave para mejorar el desempeño del material y favorecer su posible escalabilidad a nivel piloto.



**Figura 1.** Espectros FTIR de muestras tratadas con diferentes concentraciones de NaOH, evidenciando cambios en grupos funcionales (O–H, C–H, C–O) asociados a la modificación de la estructura lignocelulósica.

**Tabla 1.** Efecto de la concentración de NaOH en las propiedades de biomateriales obtenidos de pulpa de papel reciclado.

| Condición de tratamiento | Temperatura | Efecto estructural                                                           | Rigidez | Uniformidad | Apariencia         | Resultado del material                     |
|--------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------|--------------------|--------------------------------------------|
| < 1 % NaOH               | 70–80 °C    | Remoción limitada de lignina; estructura lignocelulósica poco modificada     | Baja    | Baja        | Delgada, irregular | Material débil y poco cohesivo             |
| 1–3 % NaOH               | 70–80 °C    | Eliminación parcial de lignina y hemicelulosas; mayor exposición de celulosa | Media   | Alta        | Homogénea, clara   | Material flexible, uniforme y estable      |
| > 5 % NaOH               | > 90 °C     | Modificación excesiva de la estructura; posible afectación de la celulosa    | Alta    | Media       | Oscura, rígida     | Material frágil y con tendencia a fractura |

## Referencias

- Ahmad, E. F., Lestari, P., Oginawati, K., Yulizar, Y., Sianturi, J., Munir, M. M., & Adawiah, A. (2026). Soda-anthraquinone-catalyzed delignification of coconut husk waste. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 21(1), 128–136. <https://doi.org/10.1080/15440478.2025.2502653>
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H.-P., & Bohn, A. (2005). Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte Chemie International Edition*, 44(22), 3358–3393. <https://doi.org/10.1002/anie.200460587>
- Mergbi, M., Galloni, M. G., Aboagye, D., Elimian, E., Su, P., Ikram, B. M., Nabgan, W., Bedia, J., Ben Amor, H., Contreras, S., Medina, F., & Djellabi, R. (2023). Valorization of lignocellulosic biomass into sustainable materials for adsorption and photocatalytic applications in water and air remediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 74544–74574. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27484-2>



## Valorización de residuos agroindustriales de caña de azúcar para la remoción de contaminantes farmacéuticos en matrices acuosas

Tatiana Murillo<sup>a</sup>, Johwan Paniagua-Macías<sup>a</sup>, Angélica Forgionny<sup>a\*</sup>, Nancy Acelas<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Grupo de Investigación Materiales con Impacto (Mat&mpac), Instituto de Ciencias Básicas, Facultad de Ingenierías, Universidad de Medellín, Medellín 050026, Colombia

Email: [\\*mforgionny@udemedellin.edu.co](mailto:mforgionny@udemedellin.edu.co), [\\*nyacelas@udemedellin.edu.co](mailto:nyacelas@udemedellin.edu.co)

**Palabras clave:** Adsorción, contaminantes farmacéuticos, residuos agroindustriales, remediación de aguas.

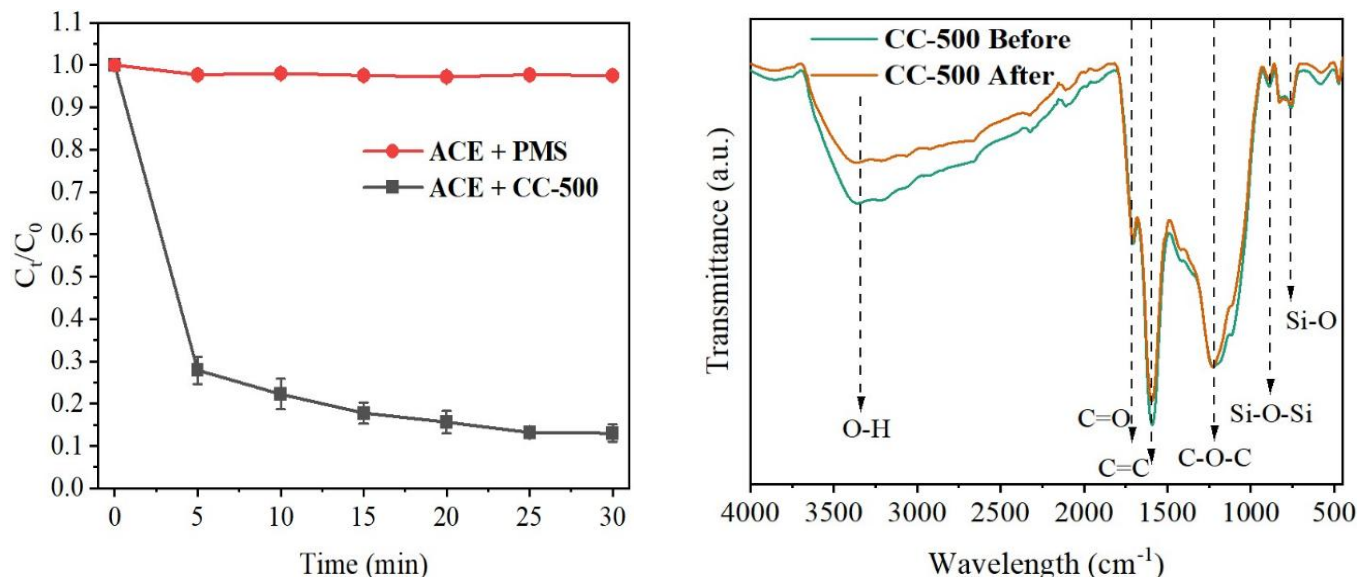
### Resumen

La agroindustria de la caña de azúcar genera grandes volúmenes de residuos, el bagazo representa una fracción significativa (120–150 kg por tonelada procesada), siendo frecuentemente dispuesto en rellenos sanitarios, lo que contribuye a emisiones de gases de efecto invernadero y riesgos de contaminación ambiental en ecosistemas acuáticos (Ungureanu, 2022). Además, la presencia de antibióticos en aguas residuales constituye una problemática emergente a nivel global debido a su persistencia y la proliferación de bacterias resistentes, con implicaciones para la salud pública y los ecosistemas. En este contexto, la valorización de residuos lignocelulósicos para la producción de materiales funcionales, surge como una estrategia sostenible dentro de la economía circular, permitiendo simultáneamente la gestión eficiente de residuos y la remoción de contaminantes emergentes en aguas (Escobar et al., 2025)(Paredes-Laverde et al., 2023).

En este trabajo, se evaluó el desempeño de un material adsorbente derivado de residuos de caña de azúcar para la remoción de acetaminofén (ACE) en matrices acuosas. El material (CC-500) fue preparado mediante calcinación a 500 °C, con una velocidad de calentamiento de 10 °C·min<sup>-1</sup> y un tiempo de isoterma de 1 h. Los ensayos de remoción se llevaron a cabo bajo condiciones de pH natural, concentración inicial de ACE de 20 mg·L<sup>-1</sup> y una dosis de adsorbente de 1.5 g·L<sup>-1</sup>. Los resultados evidenciaron una remoción eficiente del contaminante, atribuida predominantemente a mecanismos de adsorción. Los ensayos de control con peroximonosulfato (PMS) mostraron una ausencia de degradación significativa del contaminante por oxidación directa con remociones del orden de ~2.4%, lo que descarta la contribución de procesos oxidativos en las condiciones evaluadas. En contraste, la aplicación del material CC-500 permitió alcanzar remociones cercanas al 80% en tan solo 15 min de tratamiento (Figura 1a), indicando una cinética rápida y una elevada afinidad del adsorbente por el fármaco. El análisis mediante FTIR (Figura 1b) reveló modificaciones en la superficie del material posteriores al proceso de adsorción, evidenciadas por la disminución en la intensidad de bandas características asociadas a grupos hidroxilo (–OH), enlaces aromáticos (C=C) y estructuras inorgánicas basadas en silicio (Si–O y Si–O–Si), lo que sugiere la participación de estos sitios en la interacción adsorbente–adsorbato. Complementariamente, estudios de cinética, isoterma de adsorción, ciclos de reúso y sistemas multicomponente han mostrado resultados consistentes, destacando la estabilidad y capacidad del material para operar bajo condiciones más complejas.







**Figura 1.** (a) Evaluación del sistema oxidativo (PMS) y de la cinética de remoción de acetaminofén en matriz acuosa utilizando el material CC-500; (b) Espectros FTIR del material CC-500 antes y después del proceso de adsorción.

Los resultados obtenidos demuestran que el material CC-500 derivado de residuos de caña de azúcar constituye una alternativa rápida y eficiente para la remoción de contaminantes farmacéuticos en matrices acuosas, alcanzando altos porcentajes de remoción en tiempos cortos (~80% en 15 min). La evidencia espectroscópica sustenta la participación activa de grupos funcionales superficiales en el proceso de adsorción, mientras que su estabilidad en matrices complejas refuerza su viabilidad para aplicaciones en el tratamiento de aguas.

## Referencias

Escobar, I., Castro-jim, C. C., Porras, J., Isabel, M., Serna-galvis, E. A., Mu, J., & Acelas, N. (2025). Valorization of sludge from an industrial treatment plant as a carbocatalyst for degrading pharmaceuticals in aqueous solutions ☆. 521(July). <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.166843>

Paredes-Laverde, M., Porras, J., Acelas, N., Romero-Hernández, J. J., Jojoa-Sierra, S. D., Huerta, L., Serna-Galvis, E. A., & Torres-Palma, R. A. (2023). Rice husk-based pyrogenic carbonaceous material efficiently promoted peroxymonosulfate activation toward the non-radical pathway for the degradation of pharmaceuticals in water. *Environmental Science and Pollution Research International*, 30(59), 123616–123632. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30785-1>

Ungureanu, N., Vlăduț, V., & Biriș, S.-Ș. (2022). Sustainable Valorization of Waste and By-Products from Sugarcane Processing. *Sustainability*, 14(17), 11089. <https://doi.org/10.3390/su141711089>



## Obtención de biopolímeros a partir de cáscara de huevo y almidón de yuca

Julián Carmona Madrigal<sup>a\*</sup>, Lina Corrales González<sup>a</sup>, Juan Diego Marín Madrigal<sup>b</sup>, Martín Hurtado Campos<sup>b</sup>, María Isabel Mejía Correa<sup>a</sup>, Ximena Gaviria Gómez<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad de Medellín, Medellín.

<sup>b</sup> Instituto Tecnológico Superior de Apatzingán, Apatzingán.

Email: <sup>a</sup> [jcarmona413@soyudemedellin.edu.co](mailto:jcarmona413@soyudemedellin.edu.co)

### Resumen

La problemática del uso de plásticos de un solo uso ha venido en aumento durante los últimos años, debido a esto se han realizado investigaciones alrededor del mundo buscando sustitutos que puedan competir con estos materiales, siendo este reto la inspiración para esta investigación. Estas investigaciones han demostrado que algunos residuos como la cáscara de huevo ayudan a aumentar la resistencia mecánica en biopolímeros basados en diferentes almidones. Asimismo, se ha encontrado que es posible la obtención de materiales con base en almidón de yuca para sustituir los plásticos de un solo uso [1-4].

Teniendo en cuenta esto se determinó realizar un material con almidón de yuca y cáscara de huevo como componentes principales; el proceso para obtener dicho material contó con la siguiente metodología:

Inicialmente se procesó la cáscara de huevo siendo esta materia prima proveniente como residuo de otros procesos, específicamente de los restaurantes dentro de la Universidad de Medellín, obteniendo así el polvo de cáscara de huevo.

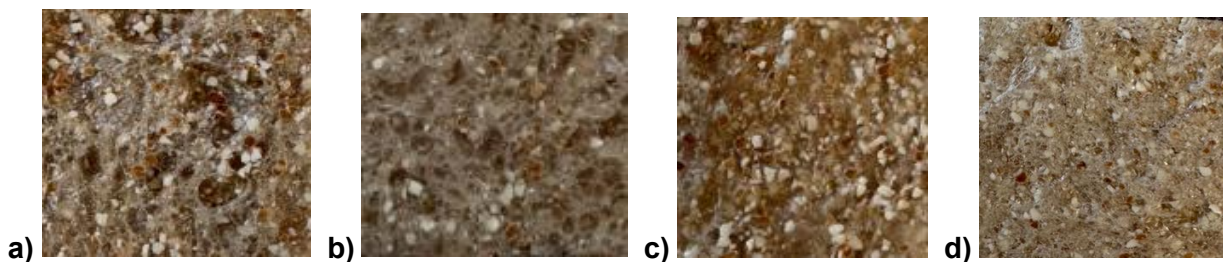
A continuación, se procedió a fabricar las películas de los diferentes biopolímeros con el almidón de yuca y el polvo de cáscara de huevo como componentes principales. Se fabricaron 4 muestras diferentes de estos materiales, teniendo cambios en las proporciones de las materias primas y otros componentes, con la finalidad de evaluar cómo cambian las propiedades mecánicas del material, según la composición química [5].

Para finalizar, las películas se sometieron a un mismo tratamiento térmico, proceso que se realizó con la intención de reducir la humedad en cada una de las muestras, permitiendo obtener el material final para análisis. El tratamiento térmico se realizó en una estufa a una temperatura de 80°C durante 7 horas, aproximadamente.

Se observó que m-1 (fig 1a), al contar con mayor proporción de almidón de yuca y cáscara de huevo, presentan mayor rigidez, dureza y resistencia mecánica, que el material de la m- 2 (fig 1b), cuyos porcentajes de cáscara de huevo y de almidón de yuca son inferiores. Esto evidencia el efecto que tienen las proporciones de las materias primas en propiedades mecánicas de los materiales.

Por otro lado, para m-3 y m-4 (fig 1c y fig 1d, respectivamente) no se realizaron cambios en las proporciones de las materias primas, pero sí con una diferencia respecto a la fuente de donde proviene el almidón de yuca, siendo para m-3 de origen comercial mientras que m-4 se realizó con almidón de fuente natural. Teniendo en cuenta esto, se evidenció cómo m-3 posee mayor dureza, es más resistente y menos flexible al compararlo con m-4 que fue fabricada a partir del almidón de yuca natural.





**Figura 1.** Biopolímeros obtenidos a partir de polvo de cáscara de huevo y almidón de yuca **a)** m-1, **b)** m-2, **c)** m-3 y **d)** m-4

**Palabras claves:** Biopolímeros, cáscara de huevo, almidón de yuca.

## Conclusiones

El método propuesto aprovecha residuos de cáscara de huevo provenientes de otros procesos, fomentando la economía circular ya que los residuos no se desechan, sino que se utilizan como materia prima para la generación de nuevos productos como los biopolímeros. Estos materiales cuentan con un potencial de aplicación en la sustitución de plásticos de un solo uso.

Los resultados indican que se requiere continuar estandarizando las diferentes variables del proceso. Se encontró que la fuente del almidón influye en las propiedades organolépticas de este tipo de biomateriales. Además, las proporciones del polvo de cáscara de huevo y del almidón de yuca, influyen directamente en las propiedades mecánicas del biomaterial.

## Referencias

- [1] Betancourt, N. G., Cree, D. E. *MRS Advances* 2 (45) (2017) 2545-2550.
- [2] Meneses, J., Corrales, C. M., Valencia, M. *Revista EIA* 9(2) (2007) 54-62.
- [3] Kupervaser, M. G., Traffano-Schiffo, M. V., Dellamea, M. L., Flores, S. K., Sosa, C. A. *Food Hydrocolloids for Health*, 4 (2023) 100138.
- [4] Liu, C., Huang, Y., Pang, W., Wu, M., Xu, F., Zhang, L., Chen, G. *Matter* 3(6) (2020).
- [5] Mateus Guerra, A. M. (2019). Sistema de empaque biodegradable para comida B.A.R.F. (Proyecto de Grado). Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia.



## Valorización de cáscara de arroz mediante el desarrollo de biomateriales fúngicos

**Paula Sacripanti Olalla<sup>a\*</sup>**, Guillermo García Effron<sup>b</sup>, Matías Sebastián Cabeza<sup>c</sup>.

<sup>a</sup> paulasacri@gmail.com, Instituto de Salud y Ambiente del Litoral (ISAL), Universidad Nacional del Litoral (UNL) – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Santa Fe, Argentina.

<sup>b</sup> ggarcia@unl.edu.ar, Instituto de Salud y Ambiente del Litoral (ISAL), Universidad Nacional del Litoral (UNL) – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Santa Fe, Argentina.

<sup>c</sup> matiascabeza@gmail.com, Instituto de Salud y Ambiente del Litoral (ISAL), Universidad Nacional del Litoral (UNL) – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Santa Fe, Argentina.

**Palabras clave:** biomaterial; micelio; cáscara de arroz; *Ganoderma* sp.

### Resumen

La generación de residuos agroindustriales constituye uno de los principales desafíos de los sistemas productivos actuales. Entre ellos, la cáscara de arroz se destaca por su elevada disponibilidad, bajo aprovechamiento y composición rica en fracciones lignocelulósicas y sílice, lo que abre oportunidades para su revalorización (Morimoto et al., 2023). En paralelo, los biomateriales fúngicos han cobrado interés como alternativa a los materiales de origen fósil. Estos compuestos biobasados emplean residuos lignocelulósicos unidos por micelio, que actúa como matriz natural y reemplaza adhesivos sintéticos, dando lugar a materiales resistentes y biodegradables. Dentro de las especies fúngicas utilizadas, *Ganoderma* sp. ha mostrado resultados favorables en este campo. (Madusanka et al., 2024).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la factibilidad de utilizar cáscara de arroz como sustrato para la producción de biomateriales fúngicos con *Ganoderma* sp.

La cáscara de arroz presenta ventajas técnicas como morfología homogénea y superficie irregular que favorece la adhesión del micelio, pero utilizarla por sí sola en la elaboración de biocompuestos presenta limitaciones. Por eso se analizaron distintas estrategias para mejorar su colonización: 1) Agregado de un 10% de aditivos (harina de trigo, expeller de soja, urea, lactosuero y lactosa); 2) Combinación con un 30% de otros residuos lignocelulósicos (poda de vid, aserrín de eucalipto, cáscara de nuez pecán y rastrojo de maíz).

La evaluación del crecimiento se realizó por duplicado en placas de Petri con sustrato húmedo estéril (60% humedad) inoculado en el centro con un disco de agar de *Ganoderma* sp. Se incubó a  $27,5 \pm 0,5$  °C y 70% HR y se monitoreó el crecimiento del micelio y su densidad en el tiempo mediante observación directa con registro fotográfico. Se procesaron las imágenes utilizando el software ImageJ para determinar el área y la densidad del micelio (Mean Grey Value). Luego, se ajustó el área de micelio con su densidad, ya que una mayor biomasa fúngica se manifiesta con una densidad de micelio más alta (color blanco más intenso y colonia más esponjosa), mientras que una menor biomasa se refleja en un micelio transparente y con un crecimiento débil. Este método rápido de evaluación de crecimiento fúngico fue puesto a punto y validado en trabajos previos (Sacripanti Olalla et al., 2024).





(a)

(b)



**Figura 1. (a)** Diámetro micelial ajustado (mm) en sustrato base (CA:cáscara arroz) suplementado con 10% de aditivos (HT: harina de trigo, LA: lactosa, ES: expeler de soja, LS: lactosuero, UR: urea) **(b)** Diámetro ajustado (mm) en CA con 30 % de co-sustratos (PV: poda vid, RM: ratrojo maíz, AS: aserrín, NP: nuez pecan) **(c)** Secuencia temporal del crecimiento micelial desde el día 0 hasta el día 8.

La Figura 1 presenta la comparación de los distintos tratamientos evaluados. Los resultados indican que los mejores desempeños en términos de velocidad de crecimiento y densidad micelial se lograron con el uso de harina de trigo y expeller de soja como aditivos, mientras que entre las mezclas de sustratos se destacaron la cáscara de nuez pecán y la poda de vid.

En conjunto, los resultados permiten considerar a la cáscara de arroz como un sustrato viable para el desarrollo de biomateriales fúngicos, especialmente cuando se combina con aditivos o co-sustratos que mejoran la colonización y consolidación del micelio. Estos materiales tienen aplicaciones en la industria del packaging y la construcción, por lo que como próximo paso, se propone evaluar sus propiedades físicas y mecánicas para determinar su desempeño funcional y su potencial de escalamiento.

## Referencias:

- Madusanka, C., Udayanga, D., Nilmini, R., Rajapaksha, S., Hewawasam, C., Manamgoda, D., & Vasco-Correa, J. (2024). *A review of recent advances in fungal mycelium based composites*. *Discover Materials*, 4, 13. <https://doi.org/10.1007/s43939-024-00084-8>
- Morimoto, K., Tsuda, K., & Mizuno, D. (2023). *Literature review on the utilization of rice husks: Focus on application of materials for digital fabrication*. *Materials*, 16(16), 5597.
- Sacripanti Olalla, P., Baronetti, G., García, G. & Cabeza, M. (2024). *Estrategia para la evaluación rápida de la influencia de suplementos en el crecimiento fúngico sobre sustratos sólidos*. En *Libro de Resúmenes del XVI Congreso Argentino de Microbiología* (pp. 722). Buenos Aires.



# Evaluación del efecto de los microplásticos en la remoción de fosfatos con Ca-biocomposites de origen agroindustrial

Emilio Arcila Hock<sup>a</sup>, Sebastián Álvarez<sup>a</sup>, Valentina Ospina<sup>a</sup>, Nancy Acelas<sup>a\*</sup> y Angélica Forgionny<sup>\*</sup>

<sup>a</sup> Grupo de Investigación Materiales con Impacto (Mat&mpac), Instituto de Ciencias Básicas, Facultad de Ingenierías, Universidad de Medellín, Medellín 050026, Colombia Email: <sup>\*</sup>nyacelas@udemedellin.edu.co, <sup>\*</sup>mforgionny@udemedellin.edu.co

**Palabras clave:** microplásticos, fosfatos, Ca-biocomposites, adsorción, residuos agroindustriales

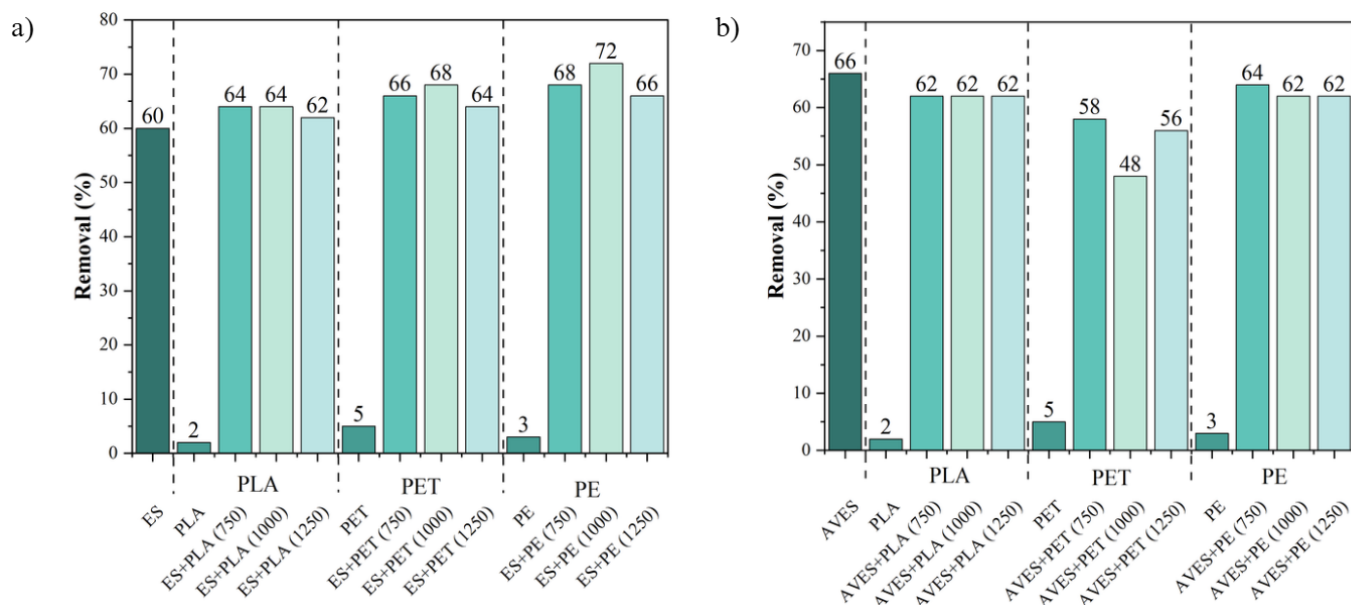
## Resumen

La contaminación simultánea por fósforo y microplásticos (MPs; partículas plásticas de tamaño inferior a 5 mm) en cuerpos de agua constituye un desafío ambiental emergente, debido a sus efectos combinados sobre la calidad del agua y la eficiencia de los procesos de remediación. Los MPs derivados de fuentes como textiles, neumáticos y cosméticos, no solo actúan como contaminantes persistentes, sino que también pueden modificar la disponibilidad y accesibilidad de los sitios activos en materiales adsorbentes, ya sea mediante efectos de competencia directa, bloqueo superficial o transporte de especies químicas. En este contexto, los Ca-biocomposites (materiales adsorbentes ricos en calcio obtenidos a partir de la pirólisis de residuos agroindustriales), han surgido como una alternativa de bajo costo y con alto potencial para la eliminación de fosfatos. En particular, residuos como la cáscara de huevo (ES), rica en carbonato de calcio, y la cáscara de aguacate (AV), con una matriz lignocelulósica funcionalizable, aportan características estructurales y químicas complementarias que favorecen su desempeño en conjunto. En esta investigación, la integración de ambos precursores permitió la obtención del Ca-biocomposite denominado AVES (ES + AV). En este sentido, se plantea como hipótesis que la presencia de MPs influye en la eficiencia de adsorción de fosfatos. En consecuencia, este estudio evaluó de manera sistemática el efecto de los MPs como contaminantes coexistentes, con el objetivo de dilucidar los mecanismos dominantes de interacción en sistemas acuosos multicomponente.

Los adsorbentes ES y AVES se obtuvieron mediante pirólisis a 700 °C en atmósfera inerte durante 2 h. Los MPs empleados consisten en tres tipos de polímeros ampliamente detectados en ambientes acuáticos: politereftalato de etileno (PET), polietileno (PE) y ácido poliláctico (PLA). Estos fueron previamente triturados hasta alcanzar un tamaño de partícula inferior a 45 µm y acondicionados antes de su uso experimental. Se realizaron estudios cinéticos de adsorción en sistemas tipo batch utilizando soluciones de fósforo a 200 mg/L, con adición de MPs a concentraciones de 750, 1000 y 1250 mg/L. Adicionalmente, se evaluó el efecto del pH en un rango de 2–10. Los materiales fueron caracterizados mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) antes y después del proceso de adsorción.

Los resultados de los experimentos preliminares (Figura 1) evidenciaron que el material ES (cáscara de huevo pirolizada) alcanzó una remoción de fósforo del 60%, mientras que el AVES logró valores de hasta un 66% de remoción en ausencia de MPs. En contraste, los MPs por sí solos mostraron porcentajes de remoción muy bajos: PLA (2%), PET (5%) y PE (3%), confirmando que la adsorción ocurre predominantemente sobre el Ca-biocomposite. Sin embargo, la presencia de MPs reduce la capacidad de adsorción del material, evidenciando un efecto inhibitor dependiente de su concentración. Este comportamiento resultó más pronunciado en el caso de PE y PET, mientras que el PLA mostró una menor interferencia en el proceso de adsorción. Las mezclas ES+MPs y AVES+MPs mantuvieron eficiencias de remoción superiores al 48% en todos los casos, lo que resalta la estabilidad y desempeño del material incluso en condiciones de competencia con MPs.





**Figura 1.** Porcentaje de remoción de fosfatos para los sistemas a) ES y b) AVES con diferentes tipos y concentraciones de microplásticos (PLA, PET, PE) a 750, 1000 y 1250 mg/L.

El ajuste cinético al modelo de pseudo-segundo orden ( $R^2 > 0,97$ ) sugiere que el proceso de adsorción está gobernado predominantemente por mecanismos de quimisorción. Las capacidades máximas de adsorción ( $Q_{max}$ ) para AVES en ausencia de MPs alcanzaron valores superiores a 113 mg/g. No obstante, estas disminuyeron de manera sistemática con el incremento en la concentración de MPs. La eficiencia de adsorción se mantuvo relativamente constante en el rango de pH 4 - 8, lo que evidencia la estabilidad del material frente a variaciones en las condiciones del medio. Los espectros FTIR confirmaron la participación de grupos funcionales tipo carbonato, hidroxilo y fosfato en la superficie de la adsorbente tras la adsorción, así como la posible ocurrencia de interacciones entre los MPs y el Ca-biocomposite.

En conclusión, los resultados indican que la presencia de MPs como contaminantes coexistentes reduce la eficiencia de adsorción de fósforo, probablemente debido a mecanismos de competencia por los sitios activos y/o bloqueo físico de la superficie del adsorbente. A pesar de esta interferencia, los Ca-biocomposites obtenidos de residuos agroindustriales mantienen altas eficiencias de remoción, lo que resalta su potencial como materiales sostenibles y robustos para el tratamiento de aguas en sistemas con múltiples contaminantes.

## Referencias:

- Yue Li, Le Tao, Qiong Wang, et al. (2023). *Environment & Health*, 1, 249–257. <https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00052>
- Bakhat, H., Amir, I., Kazmi, A., et al. (2026). *Ecological Frontiers*, 46, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.ecofro.2025.08.006>
- Acelas, N. Y., Mejía, S. M., Flórez, E., & López, D. P. (2019). *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 12, 100276. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100276>
- Wang, Z., Lyu, P., Li, L., et al. (2025). *Journal of Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2025.04.061>
- Liu, X., & Zhang, L. (2019). *Powder Technology*, 277, 112–119. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.02.055>



# Influencia de la adición de fibras de celulosa de pseudotallo de banano en las propiedades físicas, mecánicas y ópticas de hojas de mano

Alba N. Ardila A.<sup>a\*</sup>, Maria Camila Moreno <sup>b</sup>, Erasmo Arriola-Villaseñor <sup>c</sup>, Efraín VillegasGonzález <sup>d</sup>, Eduart A. Gutiérrez Pineda<sup>e</sup>, Cristian C. Villa<sup>f</sup>

<sup>a</sup> [anardila@elpoli.edu.co](mailto:anardila@elpoli.edu.co), Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín

<sup>b</sup> [maria\\_moreno64201@elpoli.edu.co](mailto:maria_moreno64201@elpoli.edu.co), Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín

<sup>c</sup> [erasmoarriola@elpoli.edu.co](mailto:erasmoarriola@elpoli.edu.co), Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín

<sup>d</sup> [efrainvillegas@elpoli.edu.co](mailto:efrainvillegas@elpoli.edu.co), Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín

<sup>e</sup> [eduart.gutierrez@unad.edu.co](mailto:eduart.gutierrez@unad.edu.co), Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá

<sup>f</sup> [ccvilla@uniquindio.edu.co](mailto:ccvilla@uniquindio.edu.co), Universidad del Quindío, Armenia

**Palabras clave:** hojas de mano, resistencia mecánica, fibras, morfología, pseudotallo

## Resumen

El aprovechamiento de fibras de celulosa provenientes de residuos agroindustriales es una estrategia clave para promover la sostenibilidad y reducir la dependencia de recursos forestales en la industria papelera. Entre estos residuos, el pseudotallo de banano presenta un alto potencial debido a su disponibilidad, contenido de celulosa y bajo costo (Ardila A et al., 2024), (Av et al., 2016). No obstante, sus características morfológicas pueden diferir de las fibras convencionales, lo que podría afectar el desempeño del papel. Este estudio evaluó cómo distintos métodos de extracción influyen en la morfología y en las propiedades físicas, mecánicas y ópticas de hojas de mano, comparando las fibras obtenidas con fibras comerciales largas de pino (FKPN).

Se emplearon tratamientos químicos con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 8% y NaOH al 25% y 30% con y sin asistencia de ultrasonido convencional (UC) o homogenizador ultrasónico (HU). Se caracterizaron las fibras midiendo longitud, ancho, curvatura, macrofibrilación y porcentaje de finos; a partir de estas se elaboraron hojas de mano y se determinaron su peso base, resistencia en seco y húmedo, elongación, capacidad de absorción, blancura ISO y coordenadas de color.

**Tabla 1.** Proceso de extracción fibras y propiedades de las hojas de mano.

| Peso<br>Código<br>de extracción | Descripción proceso                        | base<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Resistencia<br>en seco<br>(gf) | Resistencia<br>en húmedo<br>(gf) | Elongación<br>(%) | Capacidad<br>de<br>absorción L*<br>(g/g) | Coordenadas<br>de color |     |     | Blancura<br>ISO |
|---------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------|------------------------------------------|-------------------------|-----|-----|-----------------|
|                                 |                                            |                             |                                |                                  |                   |                                          | a*                      | b*  | L*  |                 |
| FPHU-H08                        | H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 8% con HU | 65.8                        | 5139                           | 681                              | 3.2               | 3.44                                     | 89.4                    | 0.2 | 7.8 | 66.0            |
| FPUC-H08                        | H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 8% con UC | 76.1                        | 8057                           | 790                              | 6.2               | 3.07                                     | 88.3                    | 0.3 | 8.6 | 63.2            |
| FPHU-Na25                       | NaOH al 25% con HU                         | 86.3                        | 5144                           | 2327                             | 3.8               | 3.02                                     | 82.1                    | 1.0 | 6.2 | 54.3            |
| FPUC-Na25                       | NaOH al 25% con UC                         | 85.2                        | 7556                           | 660                              | 5.2               | 3.39                                     | 83.0                    | 1.3 | 7.1 | 54.9            |
| FPD-Na25                        | NaOH al 25%                                | 78.4                        | 6520                           | 1840                             | 5.7               | 3.13                                     | 88.0                    | 1.1 | 7.7 | 63.5            |
| FPD-Na30                        | NaOH al 30%                                | 83.2                        | 7327                           | 1835                             | 5.1               | 3.05                                     | 82.2                    | 1.2 | 6.8 | 54.0            |
| FPUC-Na30                       | NaOH al 30% con UC                         | 82.4                        | 7118                           | 2428                             | 5.6               | 3.13                                     | 82.7                    | 1.3 | 7.0 | 54.5            |
| FKPN                            | Fibra de pino larga                        | 72.3                        | 8790                           | 3000                             | 4.6               | 2.98                                     | 94.2                    | 0.1 | 4.2 | 80.5            |

Las fibras de pseudotallo son más cortas (0.4-1.0 mm) que las de pino (2.1 mm), lo que afecta su entrelazado. No obstante, su mayor ancho (32-59 µm vs. 29 µm) favorece la cohesión de la red fibrosa. Su alta curvatura (17.5% vs. 13.5%) mejora la flexibilidad, pero puede comprometer la rigidez. Se observó un aumento en la macrofibrilación y en el porcentaje de finos, lo que podría reducir la resistencia del papel, especialmente en presencia de NaOH.

En el análisis físico-mecánico, el peso base varió de 65.8 a 86.3 g/m<sup>2</sup> en las hojas de pseudotallo, frente a





72.3 g/m<sup>2</sup> en FKPN. La capacidad de absorción fue mayor en la mayoría de las muestras de pseudotallo (3.02–3.44 g/g) que en la referencia de pino (2.98 g/g), lo que indica una estructura más porosa, deseable para papeles absorbentes, pero potencialmente desfavorable para aplicaciones que requieren alta resistencia estructural. Desde el punto de vista óptico, las fibras de pseudotallo presentaron blancuras ISO de 54.0–66.0 %, por debajo del 80.5 % del FKPN, debido a la presencia residual de lignina y cromóforos. Los valores de L\*, a\* y b\* mostraron tonos más amarillentos y menor luminosidad, lo que restringe su uso en papeles finos sin un blanqueo adicional. La implementación de etapas de blanqueo específicas podría mejorar significativamente su apariencia sin comprometer el rendimiento mecánico (Ruangnarong et al., 2024), (Abd El-Sayed et al., 2020), (Aiyedun et al., 2023).

En cuanto a las propiedades mecánicas, la muestra FPUC-H08 presentó la mayor resistencia en seco (8057 gf) y elongación (6.2 %), junto con buena blancura (63.2 %), lo que la hace idónea para papeles tissue desechables. Por su parte, FPUC-Na30 destacó por su máxima pureza de celulosa (99.5 %) y la mayor resistencia en húmedo (2428 gf), adecuada para papeles absorbentes de alta integridad en condiciones húmedas. FPHU-Na25 ofreció resistencia en húmedo competitiva (2327 gf) y menor daño morfológico, lo que la hace viable para papeles de embalaje económico, aunque su baja blancura limita aplicaciones estéticas (Ruangnarong et al., 2024), (Abd El-Sayed et al., 2020), (Aiyedun et al., 2023).

En conclusión, los materiales FPUC-Na30, FPUC-H08 y FPHU-Na25 obtenidos a partir del pseudotallo de banano tienen un notable potencial como materia prima renovable para la industria papelera, alineándose con los principios de economía circular y valorización de residuos. No obstante, se recomienda la optimización de la modificación química y mecánica de las fibras con el fin de mejorar sus propiedades y garantizar su viabilidad industrial.

## Referencias

- Abd El-Sayed, E. S., El-Sakhawy, M., & El-Shaw, M. A.-M. (2020). Non-wood fibers as raw material for pulp and paper industry. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 35(2), 215–230. <https://doi.org/doi:10.1515/npprj-2019-0064>
- Aiyedun, P., Abdulkadir, B., Owoeye, Engr. F., Borokinni, F., & Azodo, A. (2023). Development of pulp and paper using stem and fruit stem of Musa Species. *Journal of Amasya University the Institute of Sciences and Technology*, 4, 20–32. <https://doi.org/10.54559/jauist.1140132>
- Ardila A, A. N., Arriola-Villaseñor, E., González, E. E. V., Guerrero, H. E. G., Hernández-Maldonado, J. A., Gutiérrez-Pineda, E., & Villa, C. C. (2024). Enhanced Cellulose Extraction from Banana Pseudostem Waste: A Comparative Analysis Using Chemical Methods Assisted by Conventional and Focused Ultrasound. *Polymers*, 16(19). <https://doi.org/10.3390/polym16192785>
- Av, M., Va, K., & Ag, T. (2016). Optical Properties and Aggregation of Graphene Nanoplatelets. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 16, 1067–1075. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:99070564>
- Ruangnarong, C., Khojimat, S., Srivorradathisan, S., Panyathikun, N., & Chonsakorn, S. (2024). Evaluation of mechanically extracted banana fibers from pseudostem layers: A sustainable textile raw material. *Heliyon*, 10(21), e39880. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39880>



# Aprovechamiento de subproductos poliméricos y metálicos de llantas fuera de uso (NFU) para la síntesis de catalizadores heterogéneos basados en hierro.

Eliana Berrio Mesa<sup>a</sup>, Alba Nelly Ardila Arias<sup>b</sup>, Erasmo Arriola-Villaseñor<sup>c</sup>, Luz Marina Ocampo<sup>d</sup>.

<sup>a</sup> [eberriom@unal.edu.co](mailto:eberriom@unal.edu.co), Politécnico Jaime Isaza Cadavid - Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>b</sup> [anardila@elpoli.edu.co](mailto:anardila@elpoli.edu.co), Politécnico Jaime Isaza Cadavid, Medellín

<sup>c</sup> [erasmoarriola@elpoli.edu.co](mailto:erasmoarriola@elpoli.edu.co), Politécnico Jaime Isaza Cadavid - Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>d</sup> [lmocampo@unal.edu.co](mailto:lmocampo@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín

**Palabras clave:** Neumáticos fuera de uso (NFU), Síntesis de materiales funcionales, Catalizadores heterogéneos, Economía circular.

## Resumen

La valorización de neumáticos fuera de uso (NFU) ha estado tradicionalmente orientada a la recuperación energética; sin embargo, su composición rica en carbono y metales permite su aprovechamiento como materia prima para la obtención de materiales funcionales. En este trabajo se evaluó el uso de subproductos poliméricos y metálicos derivados de NFU para la síntesis de catalizadores heterogéneos basados en hierro, bajo un enfoque de economía circular orientado a la valorización integral del residuo. Inicialmente, el caucho de llanta fue caracterizado mediante análisis de humedad, contenido de cenizas y análisis termogravimétrico (TGA), lo que permitió establecer su comportamiento térmico y evidenciar la generación de una fracción sólida rica en carbono con potencial como soporte catalítico. La síntesis de los materiales se basó en el aprovechamiento de dos corrientes principales: (1) el char obtenido del proceso de pirólisis, empleado como soporte carbonoso, y (2) el acero recuperado de las llantas, utilizado como materia prima para la obtención del precursor sulfato de hierro ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). Los catalizadores tipo Fe/C fueron preparados mediante impregnación húmeda con contenidos de hierro de 20 y 40 %p/p, seguidos de secado y tratamiento térmico (Amar Gil et al., 2024).

La caracterización textural mediante adsorción de  $\text{N}_2$  (método BET) evidenció que los soportes carbonosos obtenidos a 550 y 650 °C presentan áreas superficiales de 74.7 y 70.9  $\text{m}^2/\text{g}$ , respectivamente, significativamente superiores al material obtenido a 450 °C (11.2  $\text{m}^2/\text{g}$ ), lo que indica un mayor desarrollo de la estructura porosa a temperaturas más altas de pirólisis. No obstante, tras la incorporación de la fase activa, los catalizadores Fe/C presentaron áreas superficiales en un rango más estrecho (20–29  $\text{m}^2/\text{g}$ ), independientemente de la temperatura de obtención del soporte y del contenido de hierro. Este comportamiento sugiere un bloqueo parcial de los poros debido a la impregnación, generando materiales con propiedades texturales homogéneas (Cruz et al., 2017).

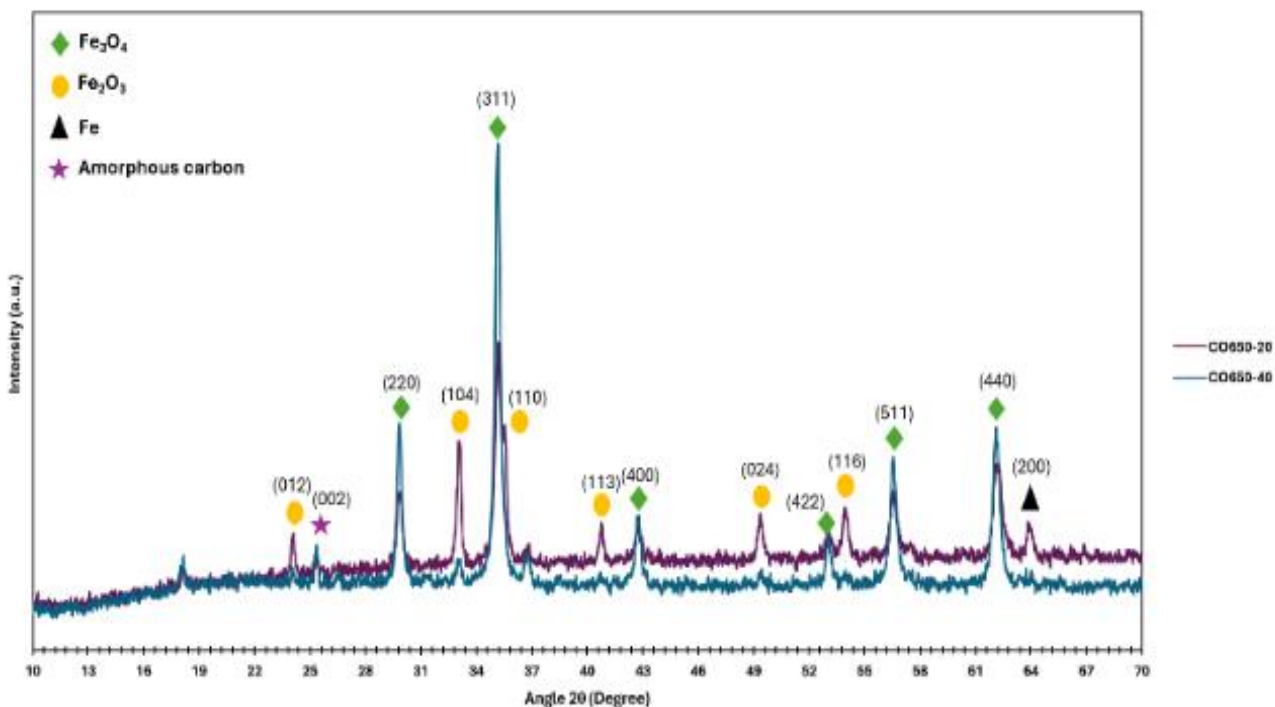
**Tabla 1.** Resultados obtenidos de medición de área superficial BET de materiales obtenidos

| Descripción del catalizador                 | Área BET                                       |                                            |                     |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------|
|                                             | Área superficial BET ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) | Volumen de Poro ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) | Tamaño de Poro (nm) |
| Soporte: Carbón de llanta obtenido a 450 °C | 11.2                                           | 0.157                                      | 33.53               |
| Soporte: Carbón de llanta obtenido a 550 °C | 74.7                                           | 0.507                                      | 15.49               |
| Soporte: Carbón de llanta obtenido a 650 °C | 70.94                                          | 0.438                                      | 14.31               |
| 20Fe/EC (Soporte de 450 °C)                 | 25.6                                           | 0.099                                      | 9.02                |
| 40Fe/EC: Soporte de 450 °C                  | 20.0                                           | 0.068                                      | 8.14                |
| 20Fe/EC: Soporte de 550 °C                  | 25.5                                           | 0.111                                      | 10.13               |
| 40Fe/EC: Soporte de 550 °C                  | 21.8                                           | 0.078                                      | 9.17                |



|                                   |      |       |      |
|-----------------------------------|------|-------|------|
| <b>20Fe/EC: Soporte de 650 °C</b> | 23.5 | 0.081 | 8.52 |
| <b>40Fe/EC: Soporte de 650 °C</b> | 29.4 | 0.114 | 8.96 |

Por otra parte, el análisis estructural por difracción de rayos X (DRX) confirmó la presencia de fases cristalinas de óxidos de hierro, principalmente magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) y hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), evidenciando la transformación del precursor durante el tratamiento térmico. La coexistencia de estas fases sugiere la formación de materiales con potencial comportamiento redox y estabilidad estructural. Asimismo, los contenidos de hierro incorporados (20 y 40% p/p) permitieron obtener catalizadores con adecuada dispersión de la fase activa. Un resultado importante de este estudio es que, a pesar de las diferencias iniciales en los soportes obtenidos a distintas temperaturas de pirólisis (450, 550, 650 °C), las propiedades texturales finales de los catalizadores se mantienen dentro de rangos similares. Esto indica que la temperatura de obtención del char no afecta de manera determinante la estructura del catalizador final, lo cual representa una ventaja operativa importante, ya que permite utilizar la fracción sólida generada en diferentes condiciones de pirólisis como soporte catalítico sin comprometer sus propiedades.



**Figura 1.** Patrones de DRX de los materiales obtenidos de subproductos poliméricos y metálicos de llantas fuera de uso (NFU)

En conjunto, los resultados evidencian la viabilidad de transformar los NFU en catalizadores funcionales mediante el aprovechamiento de sus fracciones poliméricas y metálicas, ampliando su valorización hacia materiales de mayor valor agregado con potencial aplicación en procesos termoquímicos.

## Referencias

- Amar Gil, S., Ardila Arias, A. N., & Barrera Zapata, R. (2024). Obtención y caracterización de sulfato de hierro (II) heptahidratado a partir de alambre de acero proveniente de llantas residuales. *Investigación e Innovación En Ingenierías*, 12(1), 13–21. <https://doi.org/10.17081/invinno.11.2.6717>
- Cruz, M. G. A., Fernandez, F. A. N., Oliveira, A. C., Filho, J. M., Oliveira, A. C., Campos, A. F., Padron-Hernandez, E., & Rodríguez-Castellón, E. (2017). Effect of the calcination temperatures of the Fe-based catalysts supported on polystyrene mesoporous carbon for FTS Synthesis. *Catalysis Today*, 282, 174–184. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2016.07.023>



## Caracterización de mazorca de cacao cultivado en Támesis (Antioquia) y extracción de sus compuestos bioactivos

**Diana Cristina Rodríguez Legarda<sup>a</sup>**, Aída Luz Villa Holguín<sup>b</sup>.

<sup>a</sup>*dcristina.rodriguez1@udea.edu.co, Universidad de Antioquia, Medellín*

<sup>b</sup>*aida.villa@udea.edu.co, Universidad de Antioquia, Medellín*

**Palabras clave:** biomasa, pectinas, actividad antioxidante, economía circular.

### Resumen

Este trabajo se centra en el aprovechamiento de la cáscara de la mazorca del cacao (CPH) cultivado en Támesis (Antioquia) evaluando su potencial como fuente de productos de valor agregado. El aporte más destacado de esta investigación es la provisión de un perfil composicional detallado de la biomasa y la evaluación de metodologías innovadoras como el uso de solventes sostenibles tipo NADES para la extracción eficiente de compuestos bioactivos, promoviendo la economía circular en el sector cacaotero colombiano (Valencia et al., 2024).

La metodología se fundamentó en normas estandarizadas para garantizar la reproducibilidad y confiabilidad de los resultados. El análisis próximo se realizó siguiendo la norma ASTM E871-82 para humedad y ASTM E872-82 para materia volátil, mientras que el contenido de cenizas se determinó por la norma ISO 18122:2022. Para la cuantificación de lignina se empleó la norma TAPPI T222 om-02. Para la extracción y evaluación de la actividad antioxidante se siguió la metodología desarrollada por Benítez-Correa et al. (2023) y Ayala-Zavala et al. (2012), respectivamente. Estas metodologías se complementaron con análisis instrumental como TGA y FTIR, permitiendo una caracterización fisicoquímica y estructural completa de la biomasa. El análisis FTIR confirma la naturaleza lignocelulósica y la complejidad estructural de la CPH, evidenciando su riqueza en compuestos funcionales. Las diferentes señales detectadas en el espectro permitieron identificar claramente la presencia de pectinas y hemicelulosa, lignina y polisacáridos como la celulosa.

Los resultados evidenciaron que la CPH presenta una estructura lignocelulósica compleja, caracterizada por un alto contenido de lignina (24,59%), carbono fijo (67,26%) y cenizas (12,36%), lo que indica una biomasa recalcitrante y térmicamente estable. Como aporte relevante, se obtuvo un rendimiento de extracción de pectinas del 69,8%, superior a valores reportados en la literatura, lo que demuestra la viabilidad de valorizar este residuo agroindustrial como fuente de biopolímeros de interés industrial. Aunque el contenido de compuestos fenólicos extraídos fue bajo, los extractos presentaron una alta actividad antioxidante, alcanzando hasta un 97,5% de inhibición, evidenciando que pequeñas concentraciones de compuestos bioactivos pueden generar una respuesta funcional significativa, en concordancia con metodologías reportadas para la evaluación de actividad antioxidante (Ayala-Zavala et al., 2012; Benítez-Correa et al., 2023).

En conjunto, los resultados demuestran que la cáscara de cacao estudiada constituye una materia prima viable para procesos de valorización de biomasa residual, aportando información clave para orientar su aprovechamiento integral. Asimismo, se resalta la viabilidad del uso de metodologías de extracción convencionales y verdes, y la necesidad de optimizar las condiciones de proceso para maximizar la recuperación de compuestos bioactivos.





**Tabla 1.** Resultados de los análisis de CPH.

| Análisis                                                 | Resultado    | (Valencia, 2024) | (Rodríguez Mora, 2022) | (Benítez Correa, 2023) |
|----------------------------------------------------------|--------------|------------------|------------------------|------------------------|
| Humedad [%]                                              | 6,70 ± 0,49  | 3,57             | NR                     | NR                     |
| Materia volátil [%]                                      | 13,67 ± 0,63 | 72,9             | NR                     | NR                     |
| Cenizas [%]                                              | 12,36 ± 0,88 | 8,48             | NR                     | NR                     |
| Carbono fijo [%]                                         | 67,26 ± 1,15 | 15               | NR                     | NR                     |
| Contenidos extractivos [%]                               | 10,22 ± 3,19 | NR               | NR                     | NR                     |
| Hemicelulosa [%]                                         | 22,34 ± 1,65 | 52,1             | NR                     | NR                     |
| Lignina [%]                                              | 24,59 ± 3,36 | 16,5             | NR                     | NR                     |
| Celulosa [%]                                             | 14,61 ± 1,08 | 23,7             | NR                     | NR                     |
| Pectinas [%]                                             | 69,80 ± 2,88 | NR               | 38.27                  | NR                     |
| Contenido fenólico total, evaluado en NADES [mg GAE/mL]  | 1,37 ± 0,48  | NR               | NR                     | 14.44                  |
| Contenido fenólico total, evaluado en etanol [mg GAE/mL] | 0,32 ± 0,04  | NR               | NR                     | 9.46                   |
| Actividad antioxidante, evaluado en NADES [%]            | 76,81 ± 3,20 | NR               | NR                     | 9.00                   |
| Actividad antioxidante, evaluado en etanol [%]           | 97,51 ± 0,61 | NR               | NR                     | 27.00                  |

NADES: solventes eutécticos profundos naturales. NR: No reportado.

## Referencias:

- Ayala-Zavala, J. F., Silva-Espinoza, B. A., Cruz-Valenzuela, M. R., Villegas-Ochoa, M. A., Esqueda, M., González-Aguilar, G. A., & Calderón-López, Y. (2012). *Revista Iberoamericana de Micología*, 29(3), 132–138. <https://doi.org/10.1016/j.riam.2011.09.004>
- Benítez-Correa, E., Bastías-Montes, J. M., Acuña-Nelson, S. A., & Muñoz Fariña, O. (2023). *Current Research in Food Science*, 7, Article 100614. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100614>
- Rodríguez, D., Ramírez Garcés, A. F., & Altamar Consuegra, A. del S. (2022). Extracción de pectina a partir de la hidrólisis ácida del cacao (*Theobroma Cacao* L.) y su aplicación en la obtención de biopelículas. *Revista Mutis*, 13(1), 1–20. <https://doi.org/10.21789/22561498.1885>
- Smith, E. L., Abbott, A. P., & Ryder, K. S. (2014). *Chemical Reviews*, 114(21), 11060–11082. <https://doi.org/10.1021/cr300162p>
- Valencia, L. F., Tovar, A. M., & Villa, A. L. (2024). *Ingeniería y Competitividad*, 26 (3), e-20713519. <https://doi.org/10.25100/iyc.v26i3.13519> (revistaingenieria.univalle.edu.co)



## Valoración del raquis de plátano para la obtención de materiales carbonosos: efecto de la lixiviación ácida

Juliana Hermosa Vélez<sup>a\*</sup>, Maurin Salamanca<sup>b</sup>, Elizabeth Pabón<sup>c,\*</sup>

<sup>a</sup> *jhermosav@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Medellín*

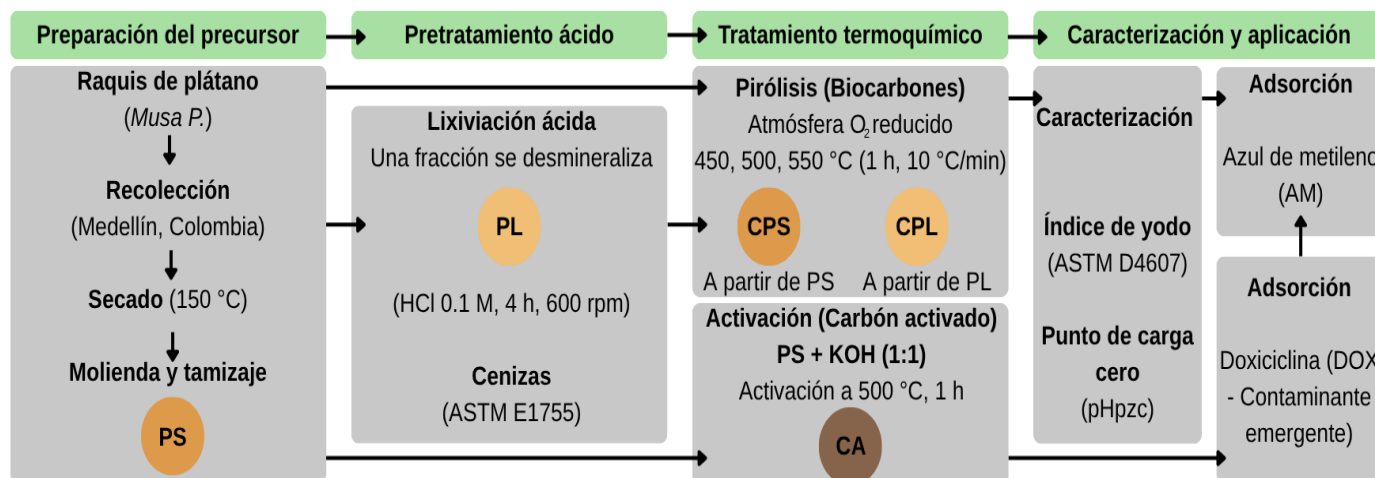
<sup>b</sup> *masalamancag@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Medellín*

<sup>c</sup> *epabon@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Medellín*

**Palabras clave:** Raquis de plátano, adsorción, materiales carbonosos, contaminantes emergentes.

### Resumen

La industria platanera genera grandes volúmenes de raquis de plátano, un residuo lignocelulósico cuya disposición inadecuada ocasiona impactos ambientales. Simultáneamente, la presencia de contaminantes emergentes, como colorantes y antibióticos, demanda soluciones de tratamiento más eficientes. En este contexto, surge la oportunidad de aprovechar la composición del raquis de plátano, particularmente su alto contenido de potasio, mediante su transformación, a través de procesos de carbonización y activación química, en materiales de mayor valor agregado con potencial aplicación en remediación ambiental.



**Figura 1.** Resumen gráfico del proceso experimental y caracterización de materiales.

La lixiviación ácida desmineralizó el raquis, reduciendo las cenizas del 19.8 % al 1.1 % (94.4 % de remoción) (Tabla 1). Si bien la desmineralización mejoró el rendimiento de los biocarbones (CPL) frente a los obtenidos del raquis sin lixiviar (CPS), esto no significó una mejora en la calidad estructural: los carbones CPS exhibieron una porosidad superior con un índice de yodo de 371.9 mg/g, duplicando el desempeño de los materiales lixiviados. Esto confirma que el potasio intrínseco del raquis (Alvarez & Galan, 2025) actúa como un agente de auto-activación natural, facilitando la creación de porosidad sin necesidad de reactivos externos.



**Tabla 1. Propiedades físico-químicas y rendimientos**

| Muestra | Cenizas (%) | Rendimiento (%) | Remoción de AM (%) |
|---------|-------------|-----------------|--------------------|
| PS      | 19.8        | N.A.            | N.A.               |
| PL      | 1.1         | N.A.            | N.A.               |
| CPS-450 | -           | 22.1            | 87.8               |
| CPS-500 | -           | 21.7            | 92.8               |
| CPS-550 | -           | 21.1            | 95.5               |
| CPL-450 | -           | 29.3            | 87.7               |
| CPL-500 | -           | 26.6            | 51.7               |
| CPL-550 | -           | 24.8            | 50.5               |

El carácter básico de los carbones (CPS) ( $pH_{pzc}$  7.4-9.0), atribuido a la presencia de sales minerales del PS, favoreció la atracción electrostática del colorante catiónico (AM). En la Tabla 1, se observó que la remoción de AM fue superior en los carbones CPS en comparación con los CPL, evidenciando la pérdida de potasio en el raquis de plátano. Este, actúa como un catalizador natural favoreciendo la gasificación de la matriz y promoviendo la generación de porosidad (Shen et al., 2020). Finalmente, el carbón activado (CA) presentó una alta eficiencia para eliminar AM (93.1 %) y alcanzó un 70.7 % de remoción de DOX. Esta capacidad frente al fármaco confirma que la relación entre el potasio intrínseco y la activación con KOH genera una arquitectura porosa compleja, apta para la remediación de aguas contaminadas.

Se validó que el raquis de plátano (PS) posee auto-activación intrínseca debido a su riqueza en metales alcalinos, los cuales actúan como catalizadores naturales para desarrollar porosidad. La relación entre estos minerales nativos y el KOH generó una arquitectura porosa eficiente en la remoción de contaminantes emergentes. Este hallazgo permite proyectar el uso del adsorbente frente a otros contaminantes emergentes y evaluar su reutilización, con el fin de consolidar su aplicación en el tratamiento sostenible y de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales.

## Referencias:

- American Society for Testing and Materials ASTM. (2010). *Standard Test Method for Ash in Biomass*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/E1755-01>
- American Society for Testing and Materials ASTM. (2010). *Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D4607-14R21>
- Alvarez, A., & Galan, J. E. L. (2025). A critical review of plantain agricultural waste valorization for energy and sustainability applications. *Discover Sustainability* 2025 6:1, 6(1), 1190-. <https://doi.org/10.1007/S43621-025-01823-4>
- Shen, Y., Zhang, N., & Zhang, S. (2020). Catalytic pyrolysis of biomass with potassium compounds for Co-production of high-quality biofuels and porous carbons. *Energy*, 190, 116431. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2019.116431>



## Desempeño de *Saccharomyces cerevisiae* inmovilizada en biochar para la remoción de contaminantes emergentes.

Isabela Puerta<sup>1</sup>, Sebastián Pérez<sup>2</sup>, Angélica Forgionny<sup>2</sup>, Nancy Acelas<sup>2\*</sup>.

<sup>1</sup> Facultad de ciencias de la salud, Colegio Mayor de Antioquia, Medellín.

<sup>2</sup> Grupo de Investigación Materiales con Impacto (Mat&mpac), Instituto de Ciencias Básicas, Facultad de Ingenierías, Universidad de Medellín, Medellín 050026, Colombia  
Email: \* nyacelas@udemedellin.edu.co

**Palabras clave:** Adsorción; Inmovilización; Biochar; Levadura; Contaminantes emergentes.

### Resumen

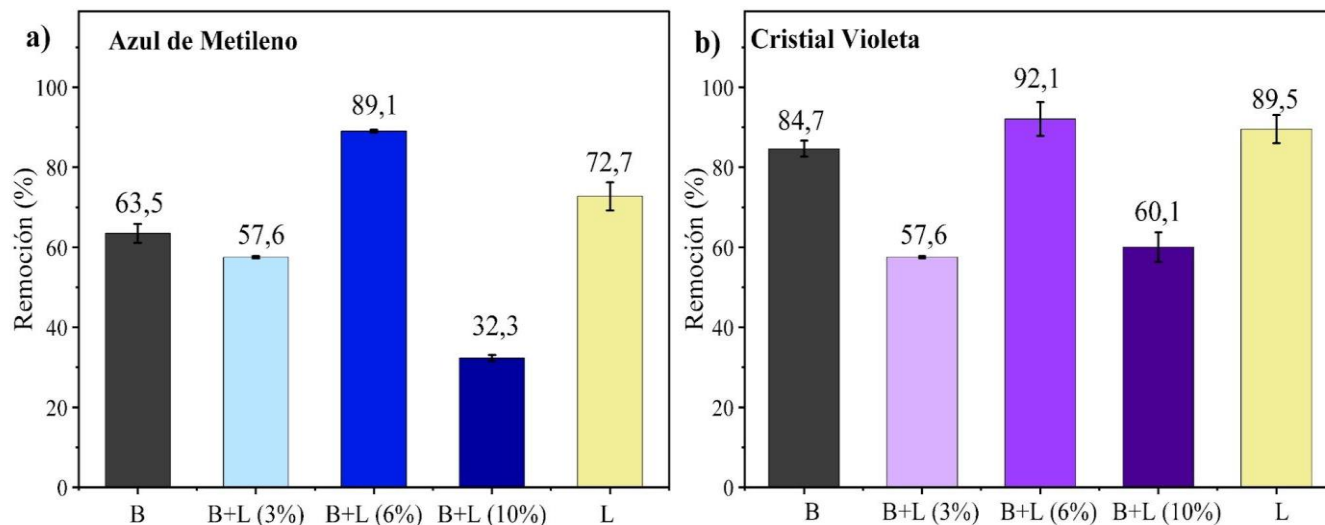
El incremento de las actividades industriales y urbanas ha deteriorado la calidad de los cuerpos de agua debido a la descarga constante de efluentes con contaminantes. Entre ellos, los colorantes sintéticos representan un desafío ambiental por su alta persistencia y por ser especies recalcitrantes. Su presencia no solo genera impacto estético, sino que también altera los procesos fotosintéticos y los niveles de oxígeno disuelto (Aguilar et al. 2023). Aunque existen diversas tecnologías de tratamiento, muchas presentan limitaciones como altos costos, elevado consumo energético y baja eficiencia. En este contexto, la adsorción se consolida como una alternativa viable; sin embargo, su implementación depende del desarrollo de adsorbentes económicos, sostenibles y eficientes. El biochar destaca por su alta capacidad de adsorción, asociada a su área superficial y grupos funcionales activos. Asimismo, la levadura *Saccharomyces cerevisiae* se propone como un bioadsorbente prometedor por su bajo costo, fácil cultivo y capacidad de acumular colorantes. En este sentido, la inmovilización celular permite fijar los microorganismos en una matriz, optimizando los sitios activos y mejorando la estabilidad, reutilización y eficiencia del sistema mediante materiales no tóxicos y compatibles.

Por lo tanto, esta investigación busca desarrollar y evaluar un sistema híbrido biochar–levadura inmovilizada como alternativa sostenible y de bajo costo para remover contaminantes emergentes. Además, integra la valorización de residuos agroindustriales con biotecnología ambiental, contribuyendo al aprovechamiento de biomasa y al entendimiento de los mecanismos de remoción (Morão, Dilarri, & Corso 2017).

Para tal fin, el biochar se obtuvo a partir de tusa de maíz mediante pirólisis a 500 °C (10 °C/min), seguido de tamizado ( $\Phi < 425 \mu\text{m}$ ). La inmovilización celular se realizó incorporando *S. cerevisiae* previamente activada en proporciones de 3, 6 y 10% p/p sobre el biochar, con agitación durante 24 h y secado posterior a 55 °C. El material se caracterizó mediante análisis de área superficial y porosidad (BET), microscopía electrónica de barrido (SEM), análisis termogravimétrico (TGA), espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y difracción de rayos X (DRX), con el fin de establecer sus propiedades fisicoquímicas, morfológicas y estructurales.







**Figura 1.** Comparación del porcentaje de remoción de (a) Azul de Metileno y (b) Cristal Violeta empleando el material híbrido (B+L) y sus controles, Biochar (B) y *S. cerevisiae* (L).

Los ensayos de adsorción se realizaron en sistemas tipo Batch utilizando Cristal Violeta (CV) y Azul de Metileno (MB) como colorantes modelo, con 150 mL de solución (10 mg/L) y dosis de adsorbente entre 1,7–3,3 g/L. El pH se evaluó entre 2 y 10, ajustado con soluciones de NaOH y HCl (0,1–1,0 M). Los datos de equilibrio se ajustaron a los modelos de Langmuir, Freundlich y Langmuir–Freundlich, mientras que la cinética se analizó mediante modelos de pseudo-primer y pseudo-segundo orden. Asimismo, se evaluó la reutilización en ciclos de adsorción–desorción.

La caracterización por FTIR y TGA confirmó la inmovilización de la levadura sobre el biochar, evidenciando interacciones químicas entre ambos componentes. En los ensayos de adsorción, el material híbrido mostró un desempeño superior frente a los controles. Para MB, la levadura libre y el biochar alcanzaron remociones de 72,7% y 63,5%, respectivamente, mientras que el sistema híbrido logró 89,1% con 6% de levadura. Para CV, se obtuvo una remoción máxima de 92,1%, superando al biochar (84,7%) y a la levadura (89,5%). Un aumento hasta 10% de levadura redujo la eficiencia (32,3% para MB y 60,1% para CV), atribuible al bloqueo de sitios activos.

Los estudios cinéticos para MB mostraron una rápida estabilización (~120 min) y un mejor ajuste al modelo de pseudo-primer orden ( $R^2 = 0.94$ ). La isoterma evidenció una capacidad máxima de adsorción ( $Q_{max}$ ) de  $2,52 \pm 0,09$  mg/g, mientras que, el pH influyó significativamente en la remoción de MB, observándose valores de 11% a pH 2 y 55% a pH 10. Aunque la levadura libre presenta buena capacidad de remoción, su recuperación es limitada; en contraste, su inmovilización sobre biochar mejora la eficiencia, facilita la separación y permite la reutilización. En conjunto, el sistema híbrido biochar–levadura incrementa la remoción de colorantes. No obstante, un exceso de biomasa compromete el desempeño, lo que resalta la necesidad de optimizar su proporción. Este material se posiciona como una alternativa sostenible, eficiente y reutilizable para el tratamiento de aguas residuales.

## Referencias

Aguilar-Aguilar, Angélica, Lorena Díaz de León-Martínez, Angélica Forgonny, Nancy Y. Acelas Soto, Sergio Rosales Mendoza, and Ana I. Zárate-Guzmán. 2023. *Science of the Total Environment* 905:167426. doi:10.1016/j.scitotenv.2023.167426.

Morão, Luana Galvão, Guilherme Dilarri, and Carlos Renato Corso. 2017. *Water, Air, and Soil Pollution* 228(7). doi:10.1007/s11270-017-3433-2.



# **Análisis de ciclo de vida del proceso de transformación de neumáticos en una empresa dedicada a su aprovechamiento**

**María Camila Quintero Quintana\*, Bernabé Alonso Fariñas, Alba Nelly Ardila Arias**

<sup>a</sup> *marquiqui1@alum.us.es\*, Dpto. Ingeniería Química y Ambiental, ETSI, Universidad de Sevilla, Sevilla*

<sup>b</sup> *bernabeaf@us.es, Dpto. Ingeniería Química y Ambiental, ETSI, Universidad de Sevilla, Sevilla*

<sup>c</sup> *anardila@elpoli.edu.co, Facultad de Ciencias Básicas, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín*

**Palabras clave:** análisis de ciclo de vida, neumáticos fuera de uso, valorización de residuos, pirólisis.

## **Resumen**

El presente trabajo aborda la problemática de los neumáticos fuera de uso (NFU) en Colombia mediante un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) comparativo entre dos tecnologías de valorización: el tratamiento mecánico implementado por la empresa y el tratamiento termoquímico por pirólisis. La motivación surge del crecimiento que presenta el parque automotor colombiano, el cual alcanzó 21.600.701 vehículos en febrero de 2026 (Concesión RUNT 2.0 S.A.S., 2026), mientras que la capacidad instalada de tratamiento procesa únicamente el 30-35% de los NFU generados, evidenciando una brecha crítica entre generación y gestión adecuada (Montoya López, L. K.,2021).

El estudio se estructura siguiendo las normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006, estableciendo como unidad funcional el tratamiento de una tonelada de NFU. Se evaluaron dos sistemas con capacidades de procesamiento equivalentes: el proceso mecánico, que mediante destalonado, trituración y granulación obtiene TDF, gránulos de caucho de distintas granulometrías, polvo de caucho y acero recuperado; y el proceso termoquímico mediante reactor Beston BLJ-6, que a través de pirólisis lenta (400°C) genera aceite pirolítico, negro de carbón, gas de síntesis para autoconsumo y acero (Cheng et al., 2020). El inventario se desarrolló a partir de balances de materia y energía, empleando datos operativos reales de julio de 2024 para el sistema mecánico y especificaciones técnicas del fabricante para el sistema de pirólisis. La evaluación de impactos se realizó mediante el método ReCiPe 2016 Midpoint (H), enfocándose en calentamiento global, uso del suelo y escasez de recursos fósiles (Maga et al., 2023).

Los resultados demuestran que el tratamiento mecánico genera beneficios ambientales superiores en las tres categorías evaluadas (Tabla 1). En calentamiento global alcanza -3.196,13 kg CO<sub>2</sub> eq/ton NFU frente a -1.190,28 kg CO<sub>2</sub> eq/ton NFU del termoquímico. En uso del suelo es la única categoría donde ambos sistemas presentan comportamientos opuestos: el mecánico genera beneficios netos (-13,54 m<sup>2</sup>a crop eq/ton NFU) mientras el termoquímico produce impactos positivos (7,72 m<sup>2</sup>a crop eq/ton NFU). En escasez de recursos fósiles, el mecánico evita -1.347,48 kg oil eq/ton NFU frente a -585,68 kg oil eq/ton NFU del termoquímico.

**Tabla 1.** Resultados comparativos del ACV por tonelada de NFU.

| Categoría de impacto        | Unidad                           | Tratamiento mecánico | Tratamiento termoquímico |
|-----------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Calentamiento global        | kg CO <sub>2</sub> eq/ton NFU    | -3.196,13            | -1.190,28                |
| Escasez de recursos fósiles | kg oil eq/ton NFU                | -1.347,48            | -585,68                  |
| Uso del suelo               | m <sup>2</sup> a crop eq/ton NFU | -13,54               | 7,72                     |



La superioridad del tratamiento mecánico se atribuye a la valorización energética directa del caucho como TDF, que conserva su estructura molecular permitiendo la sustitución de combustibles fósiles en aplicaciones industriales. El aceite de pirólisis, pese a su mayor poder calorífico (40,9 MJ/kg frente a 36 MJ/kg del TDF), presenta contribuciones mínimas en el balance global porque las emisiones del proceso termoquímico contrarrestan los beneficios de sustitución. Estos hallazgos se alinean con lo reportado en estudios recientes sobre tratamiento comparativo de NFU, donde la recuperación material tiende a superar ambientalmente a las rutas de recuperación energética (Kumar et al., 2025).

## Referencias

- Cheng, Z., Li, M., Li, J., Lin, F., Ma, W., Yan, B., & Chen, G. (2020). Transformation of nitrogen, sulfur and chlorine during waste tire pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 153, 104987. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2020.104987>
- Concesión RUNT 2.0 S.A.S. (2026). Estadísticas del parque automotor colombiano. Registro Único Nacional de Tránsito. <https://www.runt.com.co>
- Kumar, D., Pei, Y., Han, B., Khoo, S. Y., Norton, M., Adams, S. D., & Kouzani, A. Z. (2025). Comparative analysis of waste tyre treatment technologies: Environmental and economic perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 216, 115691. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115691>
- Maga, D., Aryan, V., & Blömer, J. (2023). A comparative life cycle assessment of tyre recycling using pyrolysis compared to conventional end-of-life pathways. *Resources, Conservation and Recycling*, 199, 107255. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107255>
- Montoya López, L. K. (2021). Avance en la implementación de la Resolución 1326 de 2017 “por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas y se dictan otras disposiciones” en Colombia. Universidad de Antioquia.



## La Pulpa de Café: Un Recurso Energético de Gran Potencial.

María Isabel Cuartas Soto<sup>a</sup>, Antonio Galvis Escobar<sup>b</sup>, Edith Marleny Cadena Chamorro<sup>c</sup>, Fabio Alexander Suárez Bustamante<sup>d\*</sup>

<sup>a</sup> [mcuartas@unal.edu.co](mailto:mcuartas@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

<sup>b</sup> [aggalvise@unal.edu.co](mailto:aggalvise@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

<sup>c</sup> [emcadenac@unal.edu.co](mailto:emcadenac@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

<sup>d\*</sup> [fasuarez@unal.edu.co](mailto:fasuarez@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia y Faro Tecnológico S.A.S., Medellín.

**Palabras clave:** Briquetas, Recurso Energético, Valorización de Residuos de Café, Tecnologías para Desarrollo Sostenible.

### Resumen

Potencializar modelos de economía circular requiere identificar nuevos usos para los residuos, desarrollar tecnologías verdes y promover modelos de negocio sostenibles. En el marco de una investigación orientada a la obtención de cafeína a partir de pulpa de café, se exploró el aprovechamiento energético de esta biomasa, descafeinada o no, mediante la fabricación de briquetas. Esto resulta relevante considerando que, en la producción de café, solo se aprovecha el 5% de la biomasa total (Rodríguez-Valencia & Zambrano Franco, 2010). Por tanto, el objetivo del presente trabajo es evaluar la empleabilidad de la pulpa de café como recurso energético, valorizando un residuo crítico del proceso de obtención del café.

Según Rodríguez-Valencia et al. (2013), la pulpa se genera durante el despulpado de las cerezas y representa el 43,58%w del fruto fresco. Otros residuos con potencial energético son el cisco, obtenido en el trillado y equivalente al 4,20%w, y la borra, generada en fábricas de café soluble o durante la preparación de la taza de café por usuarios finales, correspondiente al 10%w. En conjunto, estos residuos representan cerca del 58% del peso del fruto fresco, por lo que constituyen una biomasa significativa para diversas aplicaciones (Rodríguez-Valencia & Zambrano Franco, 2010).

Las muestras utilizadas para el desarrollo de este trabajo fueron acondicionadas antes de los ensayos. La pulpa seca y molida provino de una granja experimental de CENICAFÉ ubicada en Pueblo Bello, Cesar, y fue caracterizada según su granulometría mediante tamizado en seco con equipo Ro-Tap y tamices normalizados bajo ASTM E-11. El cisco fue obtenido de Amarella Café, empresa dedicada al trillado, tostión y empaque de café proveniente de diferentes fincas cafeteras del país, y fue separado granulométricamente mediante el mismo procedimiento aplicado a la pulpa. La borra correspondió al residuo de la preparación tradicional de café molido por parte del usuario final.

Para fabricar las briquetas, se evaluaron diferentes formulaciones de pulpa y aglutinante, empleando una mezcla homogénea de agua y almidón de yuca cocido, y se seleccionó la formulación con mejor desempeño posterior al briquetado. Con esta se realizaron pruebas de compresión instrumentadas para estudiar el comportamiento mecánico del material y definir rangos de esfuerzos compresivos; los resultados indican relaciones potenciales entre la fuerza compresiva y la altura instantánea de la probeta. También se analizó el secado natural mediante curvas de secado y se realizaron pruebas de poder calorífico bajo ASTM D5865. Paralelamente, se evaluaron borra y cisco para comparar los tres residuos entre sí y con resultados reportados por otros investigadores. Los poderes caloríficos obtenidos para la pulpa (16,932 kJ/g), la borra (20,798 kJ/g) y el cisco (19,119 kJ/g) coinciden con los rangos reportados por Twinomuhwezi et al. (2021) y Palamanit et al. (2023), al encontrarse en el mismo orden de magnitud.

De lo anterior se concluye que la pulpa es un recurso energético de alto potencial; aunque no presenta el mayor poder calorífico entre los residuos evaluados, es significativamente más abundante y se concentra en los centros productivos, lo que facilita su aprovechamiento. A partir de los datos de compresión, se





fabricó una briquetadora de laboratorio como prototipo para un modelo industrial; el equipo es compacto, opera entre 20 y 40 MPa y cuenta con celda de carga para monitoreo y control del proceso. Complementariamente, se diseñó un horno pirolítico para evaluar el desempeño térmico de las briquetas en condiciones reales, cuya construcción está proyectada a corto plazo.

En resumen, los residuos del café (pulpa, cisco y borra) pueden emplearse como recurso energético y representan una alternativa prometedora para mitigar el uso de leña, aportar al Plan Nacional de Sustitución Leña desarrollado por la UPME (2022) y reducir la presión sobre combustibles fósiles en zonas rurales. En particular, la pulpa sería el residuo más conveniente para fabricar briquetas por su abundancia y concentración en fincas; mientras que el cisco sería más viable a nivel de cooperativas donde se reúne el grano para el trillado, proceso en el cual representa el 20%w del grano trillado.

## Referencias

- Rodríguez-Valencia, N., & Zambrano Franco, D. A. (2010). *Los subproductos del café: Fuente de energía renovable* (Avances Técnicos No. 393). CENICAFÉ. <https://doi.org/10.38141/10779/0393>
- Rodríguez-Valencia, N., Zambrano Franco, D. A., & Ramírez, C. A. (2013). Manejo y disposición de los subproductos y de las aguas residuales del beneficio del café. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.), *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 3, pp. 111–136). CENICAFÉ. [https://doi.org/10.38141/cenbook-0026\\_31](https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_31)
- Twinomuhwezi, H., Wozeyi, P., Igwe, V. I., Amagwula, I. O., & Awuchi, C. G. (2021). Heat of combustion of coffee pulp and husks as alternative sources of renewable energy. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, 3(2). <http://dx.doi.org/10.24018/ejfood.2021.3.2.241>
- Palamanit, A., Kongto, P., Chaiprapat, S., Dejchanchaiwong, R., Chungcharoen, T., & Wae-Hayee, M. (2023). Exploration of characteristics and synthesis gas suitability for heat generation of coffee biomass pellets produced by single and co-pelletization. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 125889–125906. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31050-1>
- Unidad de Planeación Minero Energética [UPME]. (2022). *Plan nacional de sustitución de leña y otros combustibles de uso ineficiente y altamente contaminante para la cocción doméstica de alimentos*. Ministerio de Minas y Energía. <http://www.upme.gov.co>



## Tratamiento químico de lixiviados de RSU: aplicación del proceso foto-Fenton en efluentes reales.

Pablo A. Ochoa Rodríguez<sup>a\*</sup>, Griselda A. Eimer<sup>a</sup>, Tamara B. Benzaquén<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *pochoa@frc.utn.edu.ar, Centro de Investigación y Tecnología Química (CITeQ) – Universidad Tecnológica Nacional/Facultad Regional Córdoba – CONICET, Córdoba, Argentina.*

**Palabras clave:** lixiviados, foto-Fenton, RSU, biodegradabilidad.

### Resumen

Los lixiviados generados en rellenos sanitarios constituyen uno de los principales desafíos ambientales asociados a la disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU), debido a su elevada carga orgánica, la presencia de compuestos recalcitrantes y su potencial impacto sobre los ecosistemas y la salud humana. En el Complejo Ambiental “Piedras Blancas” (Córdoba, Argentina), donde se disponen aproximadamente 2500 toneladas diarias de RSU y cuyas instalaciones operan próximas a su capacidad máxima, la gestión de estos efluentes representa un punto crítico. En este contexto, los tratamientos convencionales resultan insuficientes para la remoción de contaminantes persistentes, lo que justifica la evaluación de tecnologías complementarias.

En este trabajo se abordó el estudio integral de los lixiviados, incluyendo su caracterización fisicoquímica, bacteriológica y orgánica, así como la evaluación de alternativas de tratamiento basadas en coagulación-floculación y Procesos Avanzados de Oxidación tipo foto-Fenton. El análisis se centró en la laguna de ecualización del Predio, por considerarse representativa del sistema. Los resultados evidenciaron una elevada carga contaminante, con valores de DQO ( $\approx 7000$  mg/L) y  $\text{DBO}_5$  ( $\approx 200$  mg/L), superando ampliamente los límites establecidos por la normativa vigente Decreto 847/16. Asimismo, se registraron valores elevados de COT ( $> 3200$  mg/L) y sólidos suspendidos totales (hasta 4000 mg/L), confirmando la complejidad del efluente.

La relación  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$  ( $\approx 0,03$ ) indicó una baja biodegradabilidad, característica de lixiviados maduros, lo que limita la eficiencia de tratamientos biológicos convencionales y justifica la aplicación de procesos de oxidación avanzada.

El pretratamiento mediante coagulación-floculación con sales de aluminio permitió una reducción significativa de los sólidos suspendidos y la turbidez, mejorando las condiciones ópticas del medio y favoreciendo la eficiencia del proceso fotoquímico posterior.

El proceso foto-Fenton homogéneo se evaluó bajo radiación LED UV-Vis ( $\lambda \approx 390$  nm), determinándose como condiciones óptimas  $\text{pH} \approx 2,8-3$ , concentración de hierro de 50 mg/L y  $\text{H}_2\text{O}_2$  inicial de 500 mg/L, con reposición del oxidante durante la reacción de cuatro horas de duración. Bajo estas condiciones, se alcanzó una remoción de COT del orden de 86%, reduciendo su concentración hasta 450 mg/L. Asimismo, la DQO disminuyó en aproximadamente 41%, mientras que la relación  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$  aumentó hasta valores cercanos a 0,29, evidenciando una mejora en la biodegradabilidad del efluente tratado.

Estos resultados indican una degradación efectiva de compuestos orgánicos recalcitrantes y la formación de especies más susceptibles a tratamientos biológicos posteriores, en concordancia con lo reportado en la literatura para lixiviados de características similares [1, 2].



Adicionalmente, se observaron disminuciones en parámetros relevantes como compuestos fenólicos, sulfuros y carga bacteriológica, lo que refuerza el potencial del tratamiento propuesto para el cumplimiento de normativas de vertido [3].

En conjunto, la integración de coagulación-floculación y foto-Fenton constituye una estrategia eficiente para el tratamiento de lixiviados de RSU de alta complejidad. La significativa reducción de COT y DQO, junto con la mejora de la biodegradabilidad (aumento del índice  $DBO_5/DQO$ ), posiciona a este esquema como una alternativa tecnológica viable tanto para su acoplamiento a tratamientos biológicos como para la adecuación del efluente a condiciones de vertido o reúso.

**Tabla 1.** Comparación de resultados obtenidos, en mg/L, entre lixiviado crudo y lixiviado tratado.

| Parámetro   | Lixiviado Crudo | Lixiviado Tratado |
|-------------|-----------------|-------------------|
| DQO         | 7156            | 868               |
| $DBO_5$     | 205             | 107               |
| $DQO/DBO_5$ | 0,03            | 0,29              |
| COT         | 3255            | 450               |

## Referencias

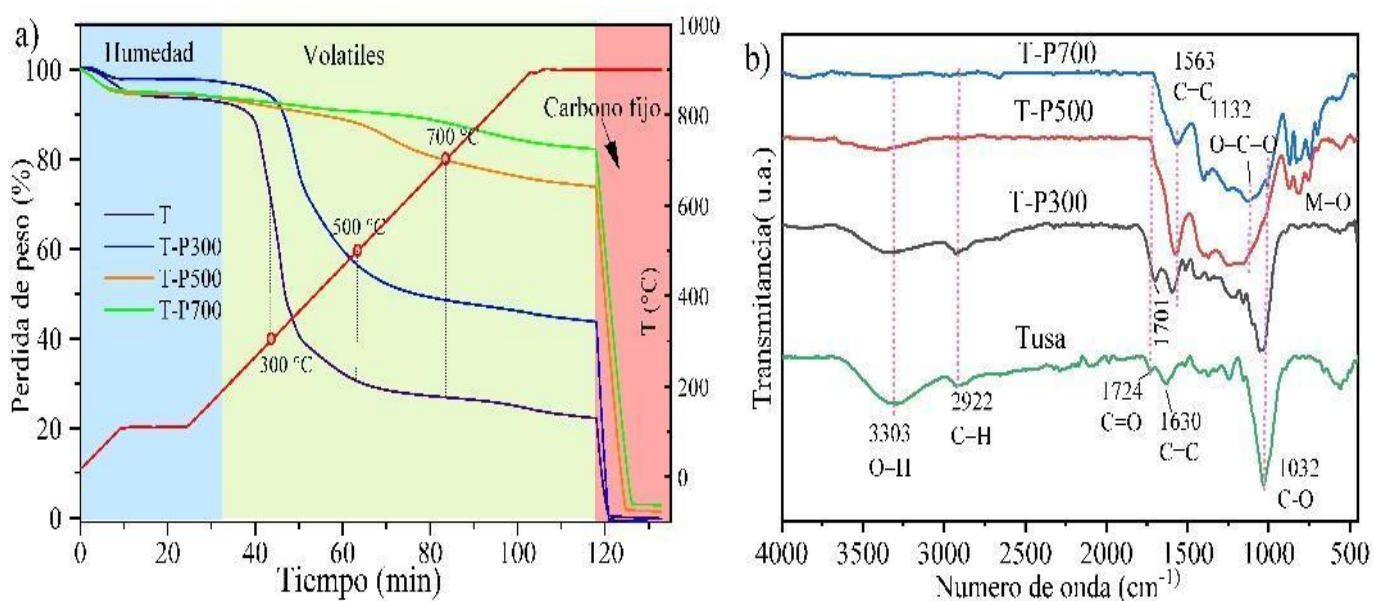
- [1] Silva J., Silva V., Cardoso V., Machado A., Trovó A. (2016). *Treatment of Sanitary Landfill Leachate by Photo-Fenton Process: Effect of the Matrix Composition*. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 27, 2264–2272. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20160120>
- [2] Silva V., Gomes Júnior O., Silva J., Nossol A., Sousa R., Machado A., Trovó A. (2017). *Strategy for Treating a Landfill Leachate by Integration of Physico-Chemical and Photo-Fenton Processes*. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 28(9), 1682–1690. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20170002>.
- [3] Benzaquén, T., Ochoa Rodríguez, P., Eimer, G. (2025). *Informe de Estudio: Tratamiento de Lixiviados de RSU en el relleno sanitario Piedras Blancas: Remoción de contaminantes para una disposición final segura*. Editorial Agencia para el Desarrollo económico de la ciudad de Córdoba.







kg CO<sub>2</sub>) y 700 °C (T-P700, 33% de rendimiento; ≈0.91 kg CO<sub>2</sub>). En conjunto, aunque temperaturas de pirólisis más elevadas promueven una mayor aromaticidad y estabilidad del carbono, el biochar producido a 300 °C ofrece un balance favorable entre mayor captura inicial de CO<sub>2</sub> y elevada funcionalidad superficial, lo que lo posiciona como un candidato prometedor para evaluaciones iniciales en sistemas cementicios orientados al curado interno y al almacenamiento de carbono. El análisis SEM-EDX confirmó la presencia de O y C como elementos mayoritarios, junto con Al, K y Si, evidenciando una alta proporción de carbono y una distribución elemental homogénea. Posteriormente, se elaboraron pastas de cemento con adiciones de biochar entre 5% y 15% en peso, evaluando la consistencia y los tiempos de fraguado conforme a normativa internacional. Los resultados indican que la incorporación de biochar no altera significativamente la trabajabilidad del sistema (consistencia ≈ 10 para ambas dosificaciones); sin embargo, incrementa la relación agua/cemento, lo que confirma su capacidad de retención hídrica.



**Figura 1.** (a) Curvas TGA de la tusa de maíz y biochars obtenidos; (b) espectros FTIR que muestran la evolución de los grupos funcionales con la temperatura de pirólisis.

Los resultados mostraron que la adición de 5% de biochar reduce los tiempos de fraguado sin afectar la consistencia, sugiriendo un efecto nucleante que acelera la hidratación. Asimismo, la presencia de bandas de carbonatos en FTIR evidencia su participación en procesos de carbonatación y su contribución al secuestro de CO<sub>2</sub>. En conjunto, el biochar T-P300 destaca por mejorar el desempeño de pastas de cemento, actuando como aditivo funcional y sumidero de carbono, con potencial para aplicaciones en materiales cementantes sostenibles.

## Referencias

- [1] J.S. de Oliveira, J.P. de Oliveira, C.P. de Oliveira, C.M. Veloso, Clean. Circ. Bioeconomy. 12 (2025). <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2025.100188>.
- [2] P.N. Bhattacharyya, S.P. Sandilya, B. Sarma, A.K. Pandey, J. Dutta, K. Mahanta, D. Lesueur, B.C. Nath, D. Borah, D.J. Borgohain, J. Soil Sci. Plant Nutr. 24 (2024) 135–158. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01629-9>.
- [3] S. Barbhuiya, B. Bhusan Das, F. Kanavaris, Constr. Mater. 20 (2024) e02859. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e02859>.



## Valorización hidrotermal de residuos de aguacate para la obtención de extractos fenólicos con potencial antioxidante

B. Esquivel-Elisalde<sup>a</sup>, C.S. Martínez-Sánchez<sup>a</sup>, S. Sabino-Sánchez<sup>a</sup>, I.S. Sanluis-Altamirano<sup>a</sup>, M.E. García-Pérez<sup>b \*</sup>, C.E. Santolalla-Vargas<sup>c \*</sup>, G. Contreras-Zarazúa<sup>a</sup>, J.A. de los Reyes<sup>a \*</sup>, V.A. Suárez-Toriello<sup>a,d \*</sup>

<sup>a</sup> [jdelosreyes@correo.uam.mx](mailto:jdelosreyes@correo.uam.mx), Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, Universidad Autónoma Metropolitana, 09340 Iztapalapa, CDMX-México.

<sup>b</sup> [estrella.perez@umich.mx](mailto:estrella.perez@umich.mx), Facultad de Químico-Farmacobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 58240 Morelia, MICH-México.

<sup>c</sup> [csantolallav@ipn.mx](mailto:csantolallav@ipn.mx), Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Instituto Politécnico Nacional, 07340 Gustavo A. Madero CDMX-México.

<sup>d</sup> [vsuarez@secihti.mx](mailto:vsuarez@secihti.mx), Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación, 03940 Benito Juárez-CDMX, México.

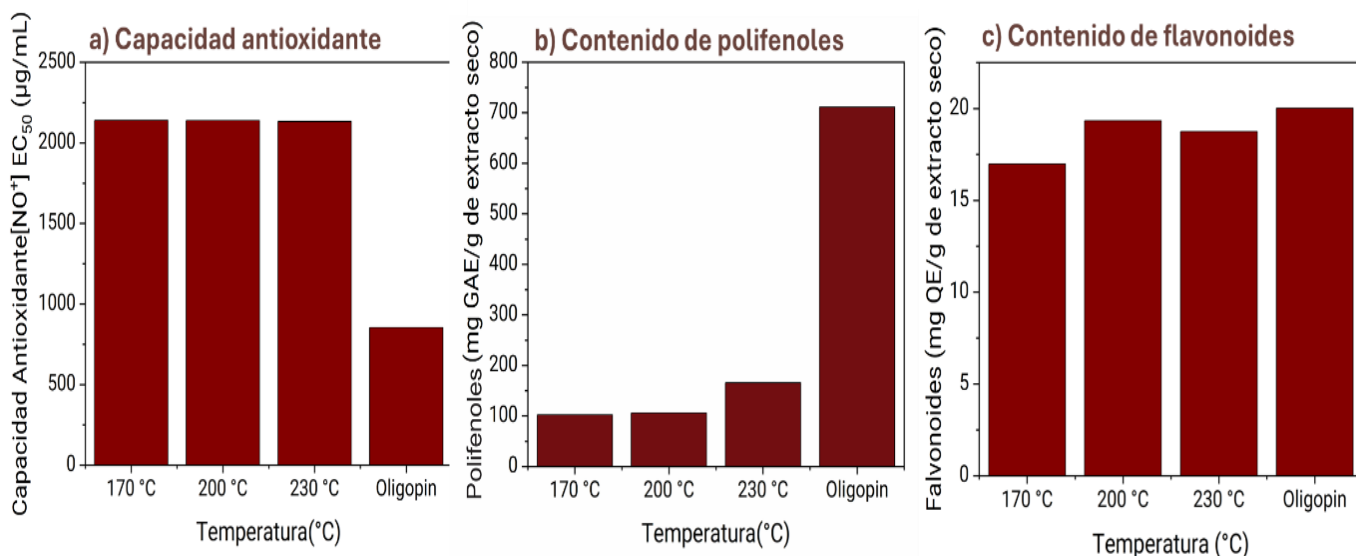
**Palabras clave:** Conversión hidrotermal; Polifenoles; Biomasa residual; Sostenibilidad

### Resumen

La conversión hidrotermal de biomasa lignocelulósica permite la valorización de residuos orgánicos mediante la obtención de fracciones líquidas ricas en compuestos funcionales y sólidos carbonosos (Avalos et al., 2023; Ho et al., 2024; Zhou et al., 2023). En este trabajo se evaluó la transformación de residuos de aguacate (cáscara y semilla) hacia extractos fenólicos con actividad antioxidante y la formación de hydrochar, integrando resultados experimentales, modelado cinético y análisis de proceso. La reacción se llevó a cabo en un reactor por lotes a 170-230 °C, con tamaño de partícula de ~62 µm, agitación de 600 rpm y una concentración de sólidos de 0.07 g/mL. La fracción líquida fue caracterizada mediante ATR-FTIR y cuantificación de compuestos fenólicos totales por el método Folin-Ciocalteu (Grasel Fdos et al., 2016), así como actividad antioxidante.

Los resultados mostraron concentraciones superiores a 100 mg-GAE/g de extracto y una capacidad antioxidante hasta cinco veces mayor que la de extractos comerciales (Figura 1). El análisis espectroscópico evidenció un incremento en grupos funcionales O-H, C=O y C-O con la temperatura, consistente con la despolimerización de la biomasa (Zhou et al., 2023). La fracción sólida obtenida (hydrochar) presentó relaciones atómicas H/C≈ 1.3 y O/C≈ 0.45, coherentes con materiales carbonosos tipo turba generados por rutas hidrotermales (Ho et al., 2024), lo que sugiere su potencial aplicación como acondicionador de suelos o material adsorbente. Los perfiles experimentales fueron descritos mediante un modelo cinético de parámetros agrupados, permitiendo representar la distribución de productos entre fases sólida y líquida. No se evidenció la formación significativa de CO<sub>2</sub> (<1%). A escala de proceso (~1 ton/día), se propuso una configuración con cuatro reactores en paralelo de 1.26 m<sup>3</sup> operando a 230 °C y 9.6 h, seguida de una etapa de nanofiltración (8 membranas de 5.6 m<sup>2</sup>, 35 bar, 25 °C) con rechazo del 98% de polifenoles, permitiendo concentrar los extractos líquidos, mientras que el hydrochar se recupera como subproducto sólido. La evaluación económica estimó una inversión en equipos de 3.92 MUSD y un costo anual total (CAT) de 0.93 MUSD/año, con ingresos superiores a 5.4 MUSD/año y un retorno de inversión de 1.4. En términos ambientales, las emisiones de CO<sub>2</sub> en la etapa de tratamiento son inferiores a 1 ton/año, frente a ~66 ton/año para compostaje; sin embargo, al considerar el consumo energético del reactor, estas alcanzan ~152 ton/año, identificando la demanda térmica como principal limitante del proceso.





**Figura 1.** Efecto de la temperatura de reacción (170–230 °C) sobre (a) capacidad antioxidante, (b) contenido de polifenoles, y (c) contenido de flavonoides.

Los resultados confirman la viabilidad técnica y económica de la conversión hidrotermal para la coproducción de extractos fenólicos e hydrochar, limitada principalmente por la demanda energética del reactor. La optimización del proceso deberá centrarse en integración térmica, recuperación de calor y operación en continuo. Adicionalmente, se requiere profundizar en la caracterización molecular de la fracción líquida y en la valorización del hydrochar, con el fin de consolidar su implementación dentro de un esquema de biorrefinería.

## Referencias:

- Avalos, M., Santolalla-Vargas, C. E., Santes-Hernández, V. F., Martínez-Flores, H. E., Torres-García, E., López-Meza, J. E., Virgen-Ortiz, J. J., Pérez-Calix, E., & García-Pérez, M. E. (2023). Valorization of avocado peels by conventional extraction and hydrothermal carbonization for cosmeceutical applications. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101335>
- Grasel Fdos, S., Ferrao, M. F., & Wolf, C. R. (2016). Development of methodology for identification the nature of the polyphenolic extracts by FTIR associated with multivariate analysis. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*, 153, 94-101. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2015.08.020>
- Ho, T. T.-T., Nadeem, A., & Choe, K. (2024). A Review of Upscaling Hydrothermal Carbonization. *Energies*, 17(8). <https://doi.org/10.3390/en17081918>
- Zhou, Y., Remon, J., Pang, X., Jiang, Z., Liu, H., & Ding, W. (2023). Hydrothermal conversion of biomass to fuels, chemicals and materials: A review holistically connecting product properties and marketable applications. *Sci Total Environ*, 886, 163920. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163920>



## Estrategia multidisciplinaria para el estudio de la transición energética del transporte en la provincia de Santa Fe, Argentina.

Patricia Acetta<sup>a</sup>, Carlos Alesso<sup>b</sup>, Noelia Rossler<sup>c</sup>, Guillermo Toffoli<sup>d</sup>, Juan Zelín<sup>e</sup>, Camilo Meyer<sup>f</sup>, Francisco Martínez<sup>g</sup>, Darío Segobia<sup>h</sup>, Cristián Ferretti<sup>i</sup>, Horacio Aguerre<sup>j</sup>, Norberto Nigro<sup>k</sup>, Nicolás Bertero<sup>l,\*</sup>.

<sup>a</sup> pmacetta@gmail.com, Facultad de Ciencias Agrarias (UNL), Esperanza, Argentina

<sup>b</sup> calesso@fca.unl.edu.ar, Facultad de Ciencias Agrarias (UNL), Esperanza, Argentina

<sup>c</sup> nrossler@fca.unl.edu.ar, Facultad de Ciencias Agrarias (UNL), Esperanza, Argentina

<sup>d</sup> guillemtoffoli@hotmail.com, Facultad de Ciencias Agrarias (UNL), Esperanza, Argentina

<sup>e</sup> jzelin@fiq.unl.edu.ar, Facultad de Ingeniería Química (UNL), INCAPE (CONICET), Santa Fe, Argentina

<sup>f</sup> cmeyer@fiq.unl.edu.ar, Facultad de Ingeniería Química (UNL), INCAPE (CONICET), Santa Fe, Argentina

<sup>g</sup> fame5184@gmail.com, INCAPE (CONICET), Santa Fe, Argentina

<sup>h</sup> dariojob1@gmail.com, Facultad de Ingeniería Química (UNL), INCAPE (CONICET), Santa Fe, Argentina

<sup>i</sup> cferretti@fiq.unl.edu.ar, Facultad de Ingeniería Química (UNL), IQAL (CONICET), Santa Fe, Argentina

<sup>j</sup> aguerrehoracio@gmail.com, CIMEC (CONICET), Santa Fe, Argentina

<sup>k</sup> norberto.nigro@gmail.com, Fac. de Ingeniería y Ciencias Hídricas (UNL), CIMEC (CONICET), Santa Fe

<sup>l</sup> nbertero@fiq.unl.edu.ar, Facultad de Ingeniería Química (UNL), INCAPE (CONICET), Santa Fe, Argentina

**Palabras clave:** Residuos agroforestales; biocombustibles; transición; multidisciplinariedad

### Resumen

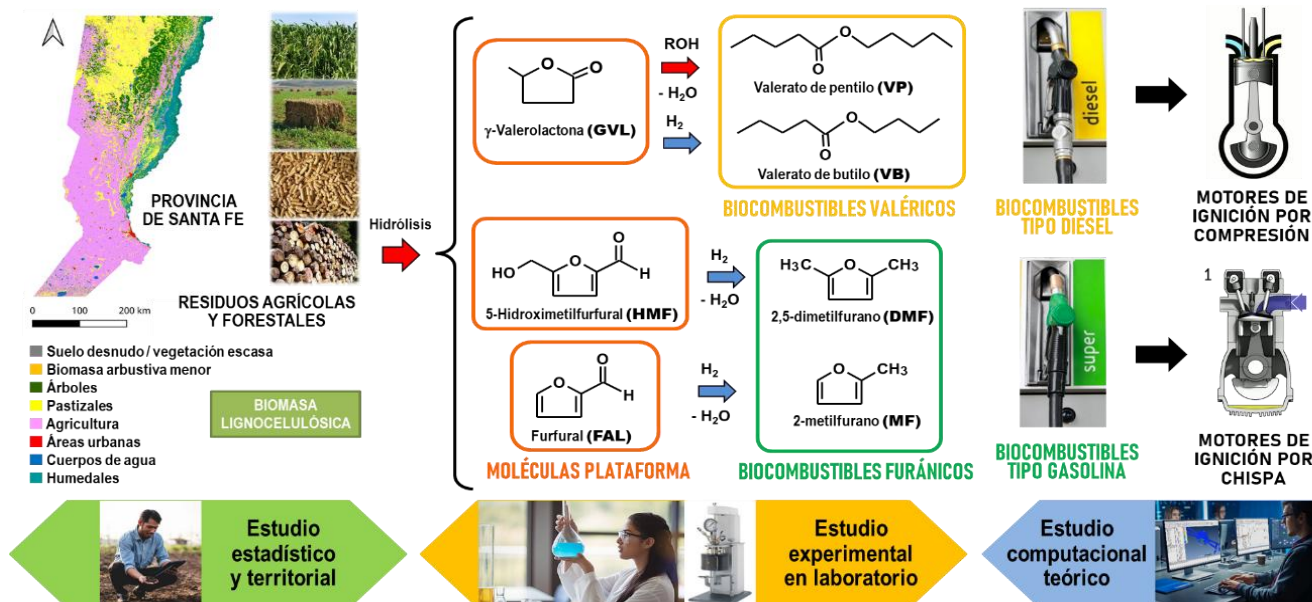
En la mayoría de los países el sector del transporte representa entre un 20 y 30% de la demanda energética interna, siendo cubiertas las necesidades de este sector de consumo en un 90% todavía por combustibles fósiles (IEA, 2025). El agotamiento gradual de estos recursos, la variabilidad en los precios del petróleo por conflictos geopolíticos y el posible efecto de las emisiones de gases de efecto invernadero aceleran el desarrollo de nuevas formas de energía más renovables, las cuales también en muchos países aumentarían su soberanía energética. Argentina, por ser país agroexportador, genera grandes cantidades de desechos agrícolas y forestales, que podrían usarse para producir biocombustibles de 2° generación para esta transición energética.

El objetivo de este trabajo es exponer los avances de un enfoque metodológico multidisciplinario con el que se está estudiando la transición energética en la provincia de Santa Fe, Argentina.

En el estudio estadístico territorial se recopiló y sistematizó la información proveniente de bases de datos de organismos oficiales, de reportes técnicos y literatura científica especializada, identificándose los principales cultivos extensivos de la provincia (soja, maíz y trigo). Mediante Google Earth Engine y ESA WorldCover (10 m) se realizó un procesamiento satelital geoespacial de cobertura de suelo, identificándose áreas agrícolas y forestales y se construyeron mapas temáticos de distribución espacial. Utilizando coeficientes de relación residuo-producto reportados por el INTA y el programa PROBIOMASA y una tasa de remoción sustentable de rastrojos (0,40) se estimó una biomasa residual disponible proveniente de soja, maíz y trigo de 8312 kt·año<sup>-1</sup>. Por otro lado, se identificó una superficie forestal continua aproximada de 987000 hectáreas en Santa Fe, estimándose un potencial de biomasa forestal residual de 740 kt·año<sup>-1</sup>. Se fijaron valores bibliográficos promedio de contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina de todos estos residuos agroforestales, cotejando ciertos valores con resultados de ensayos normalizados. Integrando todos estos datos se puede estimar la potencial producción de moléculas plataforma.







**Figura 1.** Estudio multidisciplinario de la producción y uso de biocombustibles en la provincia de Santa Fe.

Durante el estudio experimental se prepararon, caracterizaron y ensayaron en reacción catalizadores basados en metales nobles para la producción de VP y VB desde GVL, alcohol (ROH) e  $H_2$  y de metales no nobles para la obtención de DMF y MF desde HMF y FAL con  $H_2$  en fase líquida. Con  $Pt/SiO_2-Al_2O_3$ , a 10 bar de  $H_2$  y 250 °C luego de 8 h, se lograron valores de productividad a VP entre 3 y 29 veces mayores y a VB entre 3 y 11 veces superiores a los valores informados por otros autores sobre Cu (Martínez y col., 2023), observándose cierto efecto del precursor y de la carga metálica. Por otro lado, con  $Co/SiO_2$  preparado también por el método de impregnación a humedad incipiente, se alcanzaron rendimientos en MF y DMF de 70% y 90% respectivamente, a 15 bar de  $H_2$  y a 120-180 °C, luego de 6 h y usando THF como solvente (Deferrari y col., 2025).

Por su parte, el estudio teórico computacional desarrolló una herramienta general, robusta y reproducible para la simulación integral de motores de combustión interna con geometrías móviles y cambios topológicos (Aguerre y col., 2025). Con esto se logró la primera simulación robusta de un ciclo completo de 0 a 720 CAD con paso de 0,1 CAD bajo condiciones prácticas de cálculo, junto con series diagnósticas reproducibles de presión, Courant, residuos y costo computacional. Esto se aplicará a las simulaciones 0-D, 1-D y CFD para los biocombustibles VP, VB, DMF y MF, con validación, análisis de sensibilidad y construcción de mapas de funcionamiento y emisiones.

Así, el estudio multidisciplinario avanza obteniendo información sobre la potencial producción de moléculas plataforma desde residuos agroforestales, desarrollando procesos catalíticos de obtención de biocombustibles valéricos y furánicos y simulando en forma teórica su combustión, para evaluar la factibilidad técnica de la transición energética del transporte en Santa Fe.

Se agradece el apoyo de: ASACTEI (CTI en Red), UNL (CAID 2024) y CONICET (Coop. Int.).

## Referencias:

- Aguerre, H.J., Godino, D.M. y Nigro, N.M. (2025). En *Resúmenes de MECOM 2025 II*, pp. 43-43.
- Deferrari, N.; Meyer, C.I.; Zelín, Z. (2025). En *Anales del XXIV Congreso Argentino de Catálisis*.
- International Energy Agency (IEA) (2025). *World Energy Outlook 2025*. [www.ie.org](http://www.ie.org)
- Martínez Figueredo, K.; Martínez, F.; Segobia, D.; Bertero, N. *ChemPlusChem* 88 (2023) e202300381.



# Valorización de baterías ion – litio gastadas para la preparación de catalizadores y su aplicación en la oxidación selectiva de alcohol bencílico

**Santiago A. Bedoya B<sup>a\*</sup>**, Erasmo Arriola-Villaseñor<sup>b</sup>, Alba N. Ardila A<sup>c</sup>, Luz M. Ocampo<sup>d</sup>

<sup>a</sup> [sabedoyab@unal.edu.co](mailto:sabedoyab@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Antioquia

<sup>b</sup> [earriola@unal.edu.co](mailto:earriola@unal.edu.co), Nacional de Colombia, Medellín, Antioquia

<sup>c</sup> [anardila@elpoli.edu.co](mailto:anardila@elpoli.edu.co), Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Antioquia

<sup>d</sup> [lmocampo@unal.edu.co](mailto:lmocampo@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Antioquia

**Palabras clave:** Lixiviación, Baterías ion-litio, catalizadores heterogéneos, oxidación

## Resumen

El crecimiento exponencial en el uso de baterías de ion-litio (BILs) ha generado una creciente acumulación de residuos con alto contenido de metales como Co, Ni, Cu, Mn, Li y Al, así como materiales carbonosos con potencial de valorización. En este contexto, el desarrollo de estrategias sostenibles que integren la recuperación de estos componentes y su transformación en materiales funcionales representa una alternativa prometedora tanto desde el punto de vista ambiental como tecnológico (Tong, Z., 2025). Particularmente, la síntesis de catalizadores a partir de residuos de BILs permite cerrar ciclos de materiales bajo principios de economía circular. En este trabajo se propone una ruta integrada para la valorización de BILs gastadas mediante la recuperación simultánea de metales y grafito, y su posterior aplicación en la síntesis de materiales catalíticos. Inicialmente, las BILs fueron descargadas, secadas y desensambladas para separar el ánodo y el cátodo. El material catódico fue triturado, tamizado y sometido a lixiviación asistida por ultrasonido utilizando ácido cítrico y peróxido de hidrógeno, favoreciendo la disolución de metales de transición. Paralelamente, el grafito del ánodo fue recuperado mediante procesos de lavado, sedimentación y secado, obteniéndose un material carbonoso (Grafito de BILs) y un derivado exfoliado por sonicación (Gn S8 Son) con propiedades mejoradas (Lappalainen, H., 2026).

El licor de lixiviación obtenido se empleó como precursor metálico para la síntesis de catalizadores mediante métodos de deposición–precipitación, impregnación húmeda e incipiente, empleando soportes tanto de grafito comercial como materiales derivados de las BILs. Finalmente, los catalizadores fueron evaluados en la reacción de oxidación de alcohol bencílico a benzaldehído en un reactor discontinuo bajo aire a 90 °C, 750 rpm, durante 6 h. Los productos se analizaron mediante CG-FID (Kaur, J., 2026).

Los resultados evidencian que el contenido de cobalto desempeña un papel clave en la actividad catalítica, favoreciendo la conversión del alcohol bencílico al incrementar la cantidad de sitios activos disponibles (Tabla 1).

**Tabla 1.** Efecto del método de preparación y contenido de Co sobre la conversión, selectividad y rendimiento catalítico.

| Descripción | Soporte           | Preparación de catalizador | % Co en catalizador | % Conversión | % Selectividad | % Rendimiento |
|-------------|-------------------|----------------------------|---------------------|--------------|----------------|---------------|
| Cat-1       | Grafito comercial | Deposición precipitación   | 5,83                | 30,43        | 99,9           | 30,40         |
| Cat-2       | Grafito comercial | Impregnación húmeda        | 9,31                | 5,46         | 99,9           | 5,45          |



|              |                   |                          |       |       |      |       |
|--------------|-------------------|--------------------------|-------|-------|------|-------|
| <b>Cat-3</b> | Grafito comercial | Impregnación incipiente  | 2,15  | 5,09  | 99,9 | 5,08  |
| <b>Cat-4</b> | Grafito BILs      | Deposición precipitación | 8,79  | 58,76 | 99,9 | 58,70 |
| <b>Cat-5</b> | Grafito BILs      | Impregnación húmeda      | 8,24  | 4,55  | 99,9 | 4,54  |
| <b>Cat-6</b> | Grafito BILs      | Impregnación incipiente  | 0,84  | 0,00  | 99,9 | 0,00  |
| <b>Cat-7</b> | Gn S8 Son         | Deposición precipitación | 11,05 | 96,06 | 99,9 | 95,96 |
| <b>Cat-8</b> | Gn S8 Son         | Impregnación húmeda      | 14,29 | 9,19  | 99,9 | 9,18  |
| <b>Cat-9</b> | Gn S8 Son         | Impregnación incipiente  | 0,66  | 0,00  | 99,9 | 0,00  |

No obstante, se observa que este efecto no es estrictamente lineal, ya que altas cargas metálicas de cobalto, se observan conversiones menores, afectando negativamente el desempeño catalítico. Asimismo, el método de síntesis influye de manera determinante, siendo la deposición–precipitación el método que conduce a una mejor dispersión metálica y, en consecuencia, a un mayor rendimiento catalítico. En este contexto el presente estudio demuestra la viabilidad de transformar residuos de baterías de ion-litio en materiales catalíticos funcionales, integrando procesos de recuperación de metales y reutilización de grafito. La combinación de lixiviación asistida por ultrasonido y técnicas de síntesis catalítica permite obtener sistemas con desempeño competitivo en reacciones de oxidación selectiva a benzaldehído. Este enfoque contribuye al desarrollo de tecnologías sostenibles orientadas a la valorización de residuos y al diseño de catalizadores eficientes, alineados con los principios de economía circular y química verde.

## Referencias

- [1] Tong, Z., Wang, M., Bai, Z., Li, H., & Wang, N. (2025). Advances in lithium-ion battery recycling: Strategies, pathways, and technologies. *ChemPhysMater*, 4(1), 30–47. <https://doi.org/10.1016/j.chphma.2024.05.005>
- [2] Lappalainen, H., et al. (2026). Effect of leaching reductants on the environmental impacts of an advanced hydrometallurgical battery recycling process. *Journal of Cleaner Production*, 557, 148217. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2026.148217>
- [3] Kaur, J., Bhore, R. K., Patel, S., Pawara, C. B., & Kamble, S. B. (2026). Seawater derived magnesia-copper nanostructured mixed oxide catalyst for oxidant-selective aqueous oxidation of benzyl alcohols. *Chemical Engineering Journal Advances (Green and Sustainable)*, 2, 100056. <https://doi.org/10.1016/j.cejgas.2026.100056>







presentaron efectos reducidos o antagonistas (31–75% germinación), evidenciando posibles interacciones fisicoquímicas que limitan la biodisponibilidad de los óxidos.

El nanocompuesto BC+MIX alcanzó 65-75% germinación. Se concluye que, aunque el BCS posee características estructurales favorables, su funcionalización con óxidos inorgánicos no genera necesariamente efectos sinérgicos en germinación. Las partículas de óxidos inorgánicos, particularmente ZnO y TiO<sub>2</sub> a bajas concentraciones, actúan como bioestimulantes efectivos. Este trabajo aporta evidencia relevante para el aprovechamiento sostenible del SGS en aplicaciones agroindustriales, mediante el uso de materiales funcionales dentro de un enfoque de economía circular.

**Tabla 1.** Componentes de Germinación y Vigor de Plántula en concentraciones de 5mg.

| Muestra                              | Componentes de Germinación y Vigor |                              |                        |               |          |
|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|------------------------|---------------|----------|
|                                      | % Germ                             | IVG (sem·día <sup>-1</sup> ) | T <sub>50</sub> (días) | Peso seco (g) | SVI-I    |
| MS (control)                         | 78a                                | 7.5690b                      | 2.759b                 | 0.027b        | 395.167c |
| BCS                                  | 58b                                | 6.3070c                      | 2.550b                 | 0.026b        | 291.734d |
| ZnO                                  | 88a                                | 10.640a                      | 1.926c                 | 0.036a        | 567.337a |
| TiO <sub>2</sub>                     | 88a                                | 10.352a                      | 1.567c                 | 0.034a        | 520.400a |
| Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | 79a                                | 8.823b                       | 2.211b                 | 0.028b        | 398.12c  |
| SiO <sub>2</sub>                     | 78a                                | 8.847b                       | 1.747c                 | 0.033a        | 463.529b |
| MIX (ZnO + TiO <sub>2</sub> )        | 61b                                | 3.0090e                      | 5.238a                 | 0.011c        | 141.230f |
| BCS + ZnO                            | 31d                                | 4.2000d                      | 2.000c                 | 0.029b        | 161.270f |
| BCS + TiO <sub>2</sub>               | 49c                                | 5.6230c                      | 2.472b                 | 0.030b        | 302.220d |
| BCS + Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 48c                                | 5.517c                       | 2.369b                 | 0.027b        | 262.26e  |
| BCS + SiO <sub>2</sub>               | 41cd                               | 4.8d                         | 3ab                    | 0.03b         | 212.53e  |
| BCS + MIX                            | 69b                                | 7.497b                       | 2.607b                 | 0.03b         | 370.52c  |

Media ± DE de 3 experimentos (n=20, 5 réplicas). a-d: medias con letra diferente difieren significativamente (Tukey, p<0.05).

%Germ: Porcentaje de Germinación, IVG: Índice de Velocidad de Germinación, T<sub>50</sub>: Capacidad Media Germinativa, SVI-I: Índice de Vigor de Plántula I.

## REFERENCIAS

- Hernández-Navarro, C., Pérez, S., Flórez, E., Acelas, N., & Muñoz-Saldaña, J. (2023). *Sargassum* macroalgae from Quintana Roo as raw material for the preparation of high-performance phosphate adsorbent from aqueous solutions. *Journal of Environmental Management*, 342, 118312. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118312>
- Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2015). *Biochar for environmental management: Science, technology and implementation* (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203762264>
- Mullen, C. A., & Boateng, A. A. (2008). Chemical composition of bio-oils produced by fast pyrolysis of biomass. *Energy & Fuels*, 22(3), 2104–2109. <https://doi.org/10.1021/ef700776w>
- Rodríguez-Martínez, R. E., van Tussenbroek, B., & Jordán-Dahlgren, E. (2019). Faunal mortality associated with massive beaching and decomposition of pelagic *Sargassum*. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 201–205. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.015>



## Fabricación y evaluación de hojitas de mano con incorporación de fibras celulósicas derivadas de residuos de banano

Alba N. Ardila A.<sup>a\*</sup>, María Cristina Inalbon<sup>b,c</sup>, Paulina Mocchiutti<sup>b,c</sup>, Maria Camila Moreno<sup>a</sup>, Erasmo Arriola-Villaseñor<sup>a</sup>, Eduart A. Gutiérrez Pineda<sup>d</sup>, Cristian C. Villa<sup>e</sup>

<sup>a</sup> [anardila@elpoli.edu.co](mailto:anardila@elpoli.edu.co), Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín

<sup>b</sup> [paulinam@fiq.unl.edu.ar](mailto:paulinam@fiq.unl.edu.ar), Instituto de Tecnología Celulósica, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, Santiago del Estero 2654, S3000AOJ, Santa Fe, Argentina

<sup>c</sup> [cinalbon@fiq.unl.edu.ar](mailto:cinalbon@fiq.unl.edu.ar), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

<sup>b</sup> [maria\\_moreno64201@elpoli.edu.co](mailto:maria_moreno64201@elpoli.edu.co), Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín

<sup>c</sup> [erasmoarriola@elpoli.edu.co](mailto:erasmoarriola@elpoli.edu.co), Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín

<sup>e</sup> [eduart.gutierrez@unad.edu.co](mailto:eduart.gutierrez@unad.edu.co), Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá

<sup>f</sup> [ccvilla@uniquindio.edu.co](mailto:ccvilla@uniquindio.edu.co), Universidad del Quindío, Armenia

**Palabras clave:** hojas de mano, resistencia mecánica, fibras, morfología, pseudotallo

### Resumen

El creciente volumen de residuos agroindustriales generados por la industria bananera representa un desafío ambiental significativo, particularmente en regiones como Antioquia, donde la producción es intensiva y el aprovechamiento de subproductos aún es limitado. Más del 80 % de la biomasa de la planta de banano se considera residuo, a pesar de su alto contenido de celulosa y su potencial como materia prima renovable (Ardila et al., 2024). En este contexto, la valorización de residuos lignocelulósicos mediante la obtención de fibras para aplicaciones papeleras surge como una alternativa sostenible que contribuye a la economía circular (Pătrăucean-Patrașcu et al. 2025, Harter et al., 2025). Este estudio se enfoca en la producción y evaluación de hojitas de mano fabricadas a partir de mezclas de fibras comerciales y fibras extraídas de diferentes partes de la planta de banano (pseudotallo, raquis y hojas), con el fin de analizar su viabilidad como refuerzo en la industria papelerera.

La metodología comprendió la extracción de fibras mediante un tratamiento peróxido-alcalino aplicado a biomasa de pseudotallo, raquis y hojas, previamente sometida a procesos de secado, molienda y eliminación de extractivos. Posteriormente, una fracción de estas fibras fue sometida a refinación mecánica tipo Valley para evaluar el efecto del tratamiento sobre su desempeño. Las fibras obtenidas se incorporaron en proporciones del 5 % y 10 % en mezclas con tres tipos de pulpas comerciales: fibra larga de pino, fibra corta de eucalipto y pulpa kraft de embalaje. Las hojitas de mano se fabricaron bajo condiciones estandarizadas según normas TAPPI, y se caracterizaron mediante análisis fisicoquímicos, mecánicos y morfológicos. Además, de ensayos de resistencia, drenabilidad, absorción y propiedades estructurales. Se empleó un diseño experimental factorial para evaluar la influencia de los diferentes factores y sus interacciones.

En términos de resultados, las diferencias en la morfología de las fibras extraídas tuvieron un impacto determinante en la formación y desempeño de las hojitas de papel. Las fibras provenientes del pseudotallo mostraron una estructura más homogénea, con características filamentosas y dimensiones relativamente uniformes que favorecieron su integración con fibras comerciales. Esto se tradujo en hojitas con buena formación de red fibrosa, adecuada cohesión interfibra y ausencia de defectos estructurales visibles. Por el contrario, las fibras de hojas presentaron una morfología altamente heterogénea, con presencia de haces y estructuras gruesas que dificultaron su dispersión y entrelazamiento, afectando la uniformidad de las hojas. Las fibras de raquis exhibieron un comportamiento intermedio, con una morfología más regular que las hojas, pero aún con cierta heterogeneidad.



Desde el punto de vista composicional, el tratamiento químico permitió una remoción significativa de lignina y extractivos, incrementando el contenido de celulosa en todas las fibras. El pseudotallo alcanzó los mayores niveles de enriquecimiento celulósico y la mayor eficiencia de delignificación, lo que explica su mejor desempeño en las formulaciones papeleras. Las fibras de hojas, aunque también mostraron incrementos en celulosa, conservaron mayor cantidad de lignina residual, lo cual se asoció con limitaciones en su interacción interfibra. Las fibras comerciales, especialmente las blanqueadas, presentaron composiciones altamente purificadas y comportamiento estructural predecible, sirviendo como referencia para evaluar la compatibilidad de las fibras alternativas.

El análisis morfológico mediante microscopía electrónica confirmó que la refinación mecánica mejora significativamente la individualización de las fibras, especialmente en el caso del pseudotallo y el raquis, reduciendo su diámetro y favoreciendo la fibrilación superficial. Esto incrementa el área de contacto y mejora el entrelazamiento en la red fibrosa. Sin embargo, en las fibras de hojas, la refinación tuvo un efecto limitado, persistiendo estructuras gruesas y poco favorables para la formación de papel. Estas diferencias se reflejaron directamente en la calidad de las hojitas obtenidas, donde las formulaciones con fibras refinadas mostraron mejor desempeño en términos de homogeneidad y cohesión estructural.

Finalmente, el análisis comparativo de las hojitas de mano evidenció que la incorporación de fibras de pseudotallo y raquis en proporciones de hasta el 10 % no compromete significativamente la integridad estructural del papel, manteniendo una adecuada formación de red y resistencia mecánica. En contraste, las formulaciones con fibras de hojas presentaron mayor heterogeneidad visual y menor uniformidad estructural, lo cual sugiere la necesidad de optimizar sus condiciones de tratamiento. En conjunto, los resultados demuestran que las fibras derivadas de pseudotallo y, en menor medida, de raquis, poseen un alto potencial como refuerzo en sistemas papeleros, mientras que las fibras de hojas requieren estrategias adicionales de modificación para mejorar su desempeño.

## Referencias

- Ardila, A. N., González, E. A.-V., Guerrero, H. E. G., Hernández-Maldonado, J. A., Villa, E. G.-P., & C. C. (2024). Enhanced cellulose extraction from banana pseudostem waste: A comparative analysis using chemical methods assisted by ultrasound. *Polymers*, 16, 2785. <https://doi.org/10.3390/polym16192785>
- Harter, T., Wagner, A., Weissensteiner, A., & Hirn, U. (2025). Back to rags: Producing packaging paper from post-consumer textile waste. *Journal of Cleaner Production*, 525, 146524. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.146524>
- Pătrăucean-Patrașcu, C.-I., Gavrilescu, D.-A., & Gavrilescu, M. (2025). Chemical transformations and papermaking potential of recycled secondary cellulose fibers for circular sustainability. *Applied Sciences*, 15(24), 13034. <https://doi.org/10.3390/app152413034>



# Estudio de la pirólisis térmica y catalítica de polipropileno

García, Florencia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> [garciacernaz@gmail.com](mailto:garciacernaz@gmail.com), Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas, UNLP, Argentina.

**Palabras clave:** pirólisis, polipropileno, zeolitas, catálisis.

## Resumen

### Introducción y Problemática

La producción global de plásticos ha escalado hasta alcanzar los 450 millones de tn. anuales, lo que representa un desafío ambiental crítico debido a la baja tasa de degradación y la ineficiencia de los métodos de disposición final (Maqsood et al., 2021). En Argentina, el polipropileno (PP) constituye aproximadamente el 22% de la producción plástica total, con una presencia predominante en el sector de envases y bandejas de alimentos de un solo uso. Ante las limitaciones del reciclado mecánico, la valorización termoquímica mediante reciclado terciario (pirólisis) emerge como una alternativa estratégica dentro de la economía circular. Este proceso permite la conversión de polímeros saturados en hidrocarburos de alto valor agregado, mitigando el impacto ambiental y ofreciendo una fuente de recursos energéticos renovables.

### Metodología Experimental

Se utilizaron zeolitas naturales, específicamente clinoptilolita (CLI) proveniente de una cantera en la provincia de San Juan, como soporte para el desarrollo de catalizadores. La preparación se realizó mediante la técnica de impregnación a exceso de volumen con soluciones de Zinc (Zn) y Litio (Li) en configuraciones individuales y sucesivas. El sistema experimental consistió en un reactor de lecho fijo de dos etapas operado a 500°C. Se optó por un diseño de dos etapas para separar la degradación térmica inicial del contacto catalítico, una configuración fundamental para prevenir la desactivación prematura de los sitios activos por envenenamiento o formación de coque, fenómenos comunes en sistemas de contacto directo (García, 2024). Los productos condensables fueron analizados mediante cromatografía gaseosa para evaluar la distribución de las fracciones obtenidas.

### Resultados y Discusión

Los resultados evidenciaron que la incorporación de los catalizadores basados en clinoptilolita incrementó significativamente la eficiencia del craqueo en comparación con la pirólisis térmica convencional. Se determinó que la degradación sigue el mecanismo de Rice-Kossiakoff, generando hidrocarburos ramificados característicos de la estructura del PP (García, 2024). El análisis de la acidez superficial reveló que los sitios ácidos de Brönsted son determinantes para favorecer el craqueo de compuestos olefinicos, mientras que los sitios de Lewis modulan la selectividad final. Los catalizadores dopados individualmente (C-Li y C-Zn) mostraron una mayor selectividad hacia la fracción de kerosene. En contraste, el dopado sucesivo (Zn-Li y Li-Zn) potenció un craqueo más profundo hacia la fracción de nafta o GRO, impulsado por la sinergia entre los metales y la estructura microporosa del mineral.





**Tabla 1.** Propiedades estructurales de los catalizadores.

| Catalizador | S <sub>BET</sub> (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ) | V <sub>μp</sub> (cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> ) | Dp (nm) |
|-------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------|
| C           | 6                                                  | 0,02                                               | 15,8    |
| C-Zn        | 6                                                  | 0,01                                               | 8,1     |
| C-Li        | 6                                                  | 0,01                                               | 8,0     |
| Zn-Li       | 7                                                  | 0,03                                               | 16,6    |
| Li-Zn       | 7                                                  | 0,03                                               | 15,5    |

### Conclusión

La clinoptilolita natural modificada constituye una solución tecnológica de bajo costo y alta eficiencia para la obtención de hidrocarburos industriales a partir de residuos de PP. La capacidad de ajustar la selectividad hacia fracciones ligeras (GRO) o intermedias (kerosene) mediante el dopado metálico valida el potencial de estos catalizadores en procesos de reciclado químico, promoviendo la sostenibilidad y la recuperación de recursos en el marco de la industria petroquímica moderna.

**Tabla 2.** Distribución de la fracción líquida recolectada en cortes tipo nafta (GRO), Kerosene (K) y Diesel (DRO), para la pirólisis térmica (Blanco) y la pirólisis catalítica de PP a 500°C.

| Catalizador | GRO  | Kerosene | DRO  |
|-------------|------|----------|------|
| Blanco      | 0,0  | 5,2      | 94,8 |
| C           | 31,6 | 10,2     | 58,3 |
| C-Zn        | 31,1 | 29,8     | 39,1 |
| C-Li        | 38,0 | 26,7     | 35,3 |
| Zn-Li       | 40,8 | 11,7     | 47,5 |
| Li-Zn       | 41,0 | 10,0     | 49,0 |

### Referencias:

Cámara Argentina de la Industria Plástica (CAIP). (2022) *Anuario estadístico de la industria plástica*. <https://www.caip.org.ar>.

Cámara de la Industria de Reciclados Plásticos (CAIRPLAS). (s.f.), Protocolo para la Certificación de Industrias Recicladoras de Materiales Plásticos. *RProtocolo para la Certificación de Industrias Recicladoras de Materiales Plásticos (Sello INTI-CAIRPLAS e IRAM 13700)*. <https://www.cairplas.org.ar/plasticos/>.

García, F. (2024). *Estudio de la pirólisis térmica y catalítica de polipropileno* (Trabajo Final de Licenciatura en Química y Tecnología Ambiental). Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata / CINDECA.

Maqsood, T., Dai, J., Zhang, Y., Guang, M., & Li, B. (2021). Pyrolysis of plastic species: A review of resources and products. *A Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 159. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105295>



## Efecto de la adición de biochar en el rendimiento de metano en la digestión anaeróbica para mejorar las condiciones del proceso.

Juan Diego Otálora Coronado<sup>a\*</sup>, Arley David Zapata<sup>b</sup> Mariana Bustamante Durango<sup>c</sup>, Iván Luis Calderón<sup>d</sup>, Andrés Felipe Gómez<sup>e</sup>, Juan C. Maya<sup>f</sup>

<sup>a\*</sup> [judotaloraco@unal.edu.co](mailto:judotaloraco@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>b</sup> [adzapata@unal.edu.co](mailto:adzapata@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>c</sup> [mabustamantedu@unal.edu.co](mailto:mabustamantedu@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>d</sup> [ivcalderong@unal.edu.co](mailto:ivcalderong@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>e</sup> [andfgomezbed@unal.edu.co](mailto:andfgomezbed@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>f</sup> [jcmaya@unal.edu.co](mailto:jcmaya@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín

**Palabras clave:** biochar, digestión anaeróbica, pirólisis, biogás

### Resumen

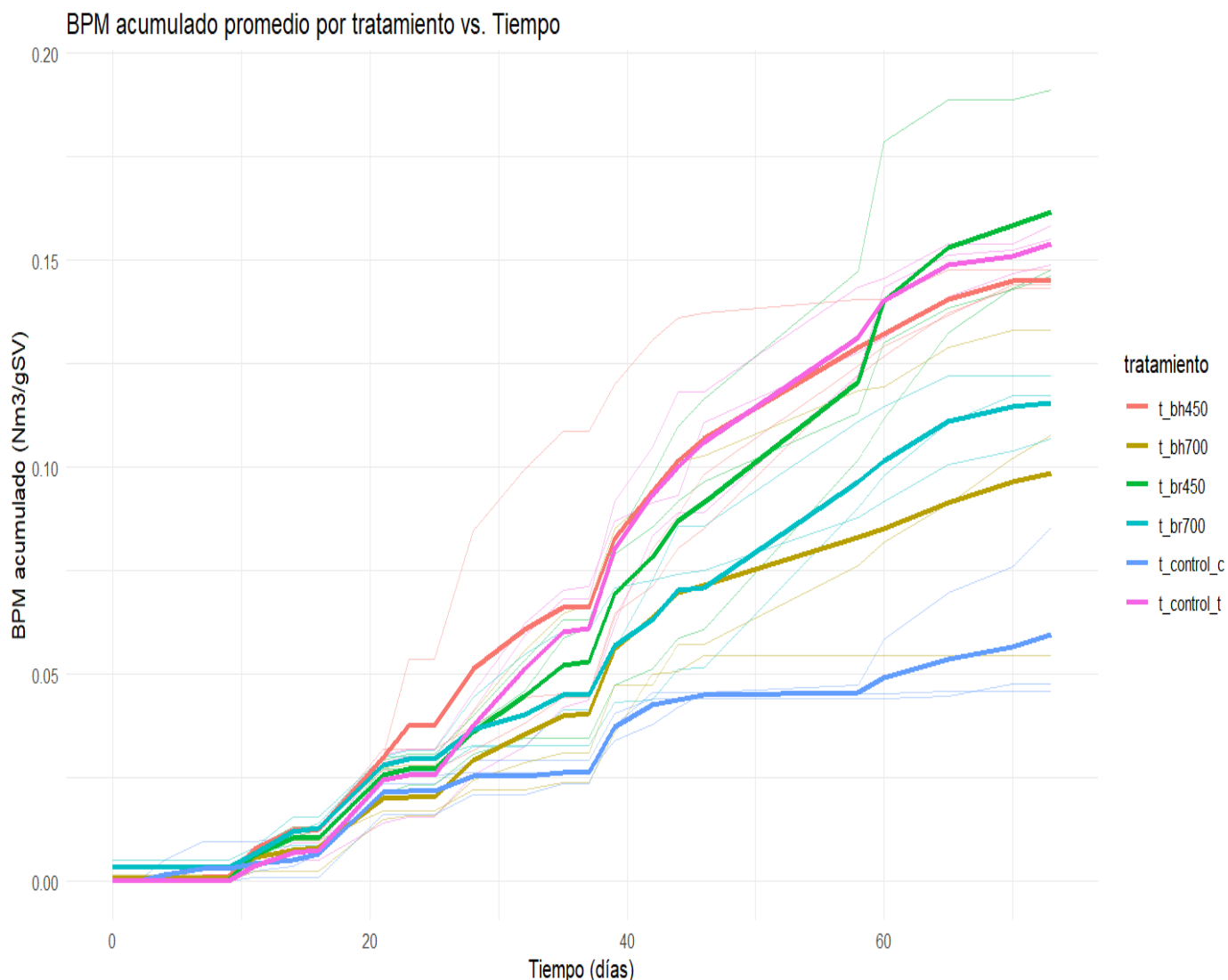
La digestión anaeróbica es una alternativa eficaz para la recuperación energética de los residuos orgánicos, aunque su rendimiento puede verse limitado por inestabilidades microbianas y la acumulación de inhibidores. En este estudio se evaluó el efecto de diferentes tipos de biochar, obtenidos a partir de ramas (BR) y hojas (BH) pirolizadas a 450 °C y 700 °C, sobre la producción de metano en sistemas de digestión anaeróbica discontinua.

Los biochar fueron obtenidos mediante pirólisis en atmósfera inerte y evaluados como aditivos en ensayos de potencial bioquímico de metano (BMP) en reactores batch bajo condiciones mesofílicas (35 ± 2 °C), con una relación inóculo/sustrato de 2:1 y monitoreo durante 43 días. Los materiales fueron caracterizados mediante análisis fisicoquímicos estructurales y composicionales con el fin de correlacionar sus propiedades con su desempeño en el proceso.

Los resultados evidenciaron que el biochar de ramas pirolizado a 450 °C incrementó de forma consistente el potencial bioquímico de metano en comparación con el control compuesto por celulosa sin adición de biochar, mostrando incrementos relativos en la producción de metano. En contraste, los biochar obtenidos a 700 °C presentaron respuestas menos definidas. Como se observa en la Figura 1, el tratamiento BR\_450 alcanza los mayores valores de producción de metano, mientras que los demás tratamientos exhiben comportamientos intermedios cercanos entre sí. El análisis estadístico evidenció diferencias entre tratamientos, donde el biochar de ramas pirolizado a 450 °C fue el único que presentó valores significativamente superiores frente al control, mientras que los demás no mostraron diferenciación estadística clara entre ellos.

Estos resultados evidencian que la adición de biochar no depende únicamente de su presencia en el sistema, sino también de sus características fisicoquímicas, las cuales están fuertemente influenciadas por la temperatura de pirólisis. En este sentido, el estudio aporta indicios de que la selección del tipo de biochar es un factor determinante en la mejora del proceso de digestión anaeróbica, siendo los materiales obtenidos a temperaturas intermedias los más favorables bajo las condiciones evaluadas.





**Figura 1.** Curvas de comportamiento acumulativo del BMP para cada tratamiento a lo largo del tiempo, bh (biochar hojas) y br (biochar ramas).

## Biochar como alternativa del carbón activado en la embriogénesis somática de aguacate (*Persea americana* Mill. cv. Hass)

Eduardo Antonio Cofradía Puerta<sup>a</sup>, Juan Gabriel Ramírez Pimentel<sup>b\*</sup>, Anareli Quintero Jimenez<sup>c</sup>, Jhon Sebastián Pérez Bedoya<sup>d</sup>, Carolina Hernández Navarro<sup>e</sup>, Nancy Acelas Soto<sup>f</sup>, Juan Muñoz Saldaña<sup>g</sup>, Luis Mario Tapia Vargas<sup>h</sup>

<sup>a</sup>24980101@roque.tecnm.mx, Doctorado en Ciencias en Producción Agroalimentaria, Tecnológico Nacional de México en Roque, Roque, Celaya, Guanajuato México

<sup>b</sup>juan.rp1@roque.tecnm.mx, <sup>e</sup>carolina.hn@roque.tecnm.mx, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México en Roque, Roque, Celaya, Guanajuato, México



<sup>c</sup>quintero.a@ugto.mx Departamento de Ingeniería Agroindustrial, División de Ciencias de la Salud e Ingeniería, Universidad de Guanajuato, Celaya, Guanajuato, México

<sup>d</sup>jspb89@gmail.com, <sup>f</sup>nyacelas@udemedellin.edu.co, Grupo de Investigación Materiales con Impacto (Mat&mpac), Instituto de Ciencias Básicas, Universidad de Medellín, Medellín, Colombia

<sup>g</sup>jmunoz@cinvestav.mx, Laboratorio Nacional de Proyección Térmica, Cinvestav Unidad Querétaro, Querétaro, México

<sup>h</sup>tapia.luisuario@inifap.gob.mx, Programa de Frutales, Campo Experimental San Juan Volcán, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Uruapan, Michoacán, México.

**PALABRAS CLAVE:** Embriogénesis somática, Biochar, Aguacate, valorización de recursos

## RESUMEN

La embriogénesis somática (ES) representa una de las rutas biotecnológicas más eficientes para la propagación masiva de especies de interés como el aguacate. Sin embargo, la eficiencia del proceso se ve limitado por la oxidación fenólica de los tejidos, fenómeno que compromete la viabilidad celular y el desarrollo embriogénico. El carbón activado (CA) se ha empleado como adsorbente para mitigar este problema, su naturaleza química altamente inerte y su capacidad de adsorción indiscriminada pueden comprometer el balance hormonal y nutricional del medio de cultivo al retener compuestos esenciales de manera no selectiva (Weatherhead et al., 1978). En este sentido, el biochar (BC) surge como una alternativa funcional y sostenible, al ser obtenido mediante la valorización de biomásas.

En particular, biomásas residuales como el sargazo, y subproductos agroindustriales como la cáscara de huevo y el aserrín de cedro, representan materias primas estratégicas para la producción de BCs con propiedades fisicoquímicas ajustables obtenido mediante la pirólisis de biomásas residuales, surge como una alternativa sostenible con gran potencial de adsorción, particularmente, materiales como desechos agroindustriales, así como de macroalgas de sargazo han demostrado ser materias primas eficaces para la preparación de adsorbentes de alto rendimiento bajo condiciones controladas de pirólisis (Hernández-Navarro et al., 2023). En este trabajo se evaluó el efecto de distintas fuentes de BC en cultivos de tejido embriogénico de aguacate Hass establecidos en medio B5 modificado (Quintero-Jiménez et al., 2020), suplementado con  $0.1 \text{ mg L}^{-1}$  de ácido 4-amino-3,5,6-tricloropicolínico (Picloram). Se compararon cuatro tratamientos: carbón activado (CA) como control, y tres BCs obtenidos a diferentes condiciones de pirólisis: BC a partir de una mezcla de cáscara de huevo y cedro a  $700^\circ\text{C}$  (BCCHC-700), BC a partir de sargazo a  $500^\circ\text{C}$  (BCS-500) y BC a partir de sargazo a  $800^\circ\text{C}$  (BCS-800). Cada unidad experimental consistió en una placa Petri con 25 mL de medio y un explante inicial, con cinco repeticiones por tratamiento. Este comportamiento sugiere que la pirólisis del BC a  $700^\circ\text{C}$  favorece el desarrollo de una estructura porosa y superficial óptimas, capaces de adsorber compuestos fenólicos inhibitorios sin afectar la disponibilidad de reguladores de crecimiento y nutrientes esenciales (Ennis et al., 2012). La composición del BCCHC, rica en compuestos de calcio, podría contribuir adicionalmente a la estabilidad del medio y al metabolismo celular. Los resultados demuestran que el BC derivado de residuos agroindustriales, procesado a condiciones adecuadas de pirólisis, constituye una alternativa técnica, eficiente y ambientalmente sostenible al CA. Su implementación en protocolos de cultivo *in vitro* no solo mejora la respuesta embriogénica, sino que también



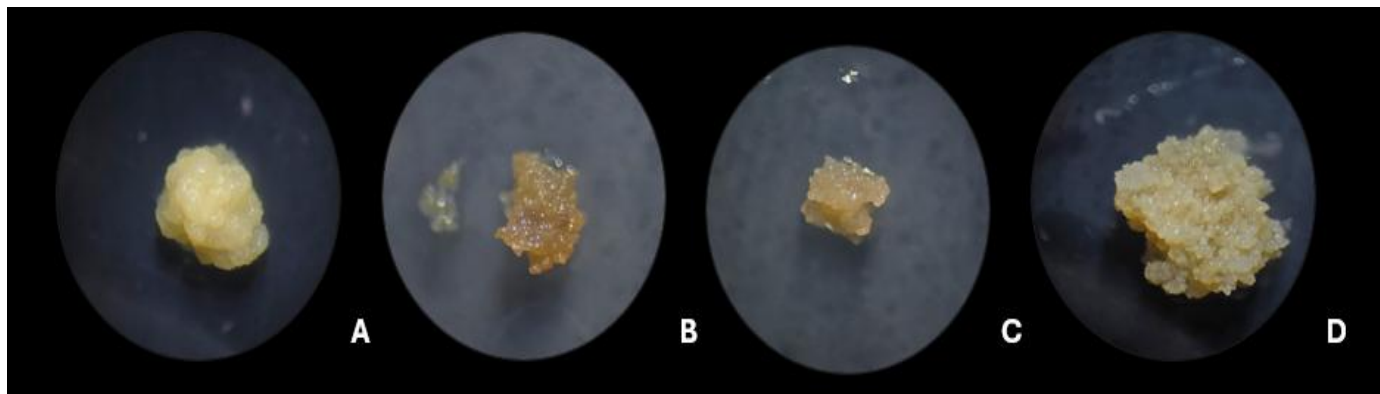


promueve estrategias de economía circular mediante la valorización de residuos agroindustriales y marinos en aplicaciones avanzadas de biotecnología vegetal.

**Figura 1.** Callos embriogénicos de aguacate Hass, dos meses después de iniciar el experimento, **A** Testigo (1 g L<sup>-1</sup> CA), **B** BCS-500 (1 g L<sup>-1</sup> BC), **C** BCS-800 (1 g L<sup>-1</sup> BC), **D** BCCHC-700 (1 g L<sup>-1</sup> BC).

## REFERENCIAS

Ennis, C. J., Evans, A. G., Islam, M., Ralebitso-Senior, T. K., & Senior, E. (2012). Biochar: Carbon Sequestration, Land Remediation, and Impacts on Soil Microbiology. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(22), 2311–2364. <https://doi.org/10.1080/10643389.2011.574115>



Hernández-Navarro, C., Pérez, S., Flórez, E., Acelas, N., & Muñoz-Saldaña, J. (2023). *Sargassum* macroalgae from Quintana Roo as raw material for the preparation of high-performance phosphate adsorbent from aqueous solutions. *Journal of Environmental Management*, 342, 118312. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118312>

Pliego Alfaro, F. & Murashige, T. (1988). Somatic embryogenesis in avocado (*Persea americana* Mill.) in vitro. *Plant cell, tissue and organ culture*, 12, 61 66.

Quintero Jiménez, A., Heredia Garcia, E., Aguirre Mancilla, C. L., Raya Pérez, J. C., Ramirez Pimentel, J. G., & Iturriaga, G. (2020). Embriogénesis y organogénesis de aguacate criollo mexicano. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas* 11: 1525-1536

Weatherhead, M. A., et al. (1978). Some effects of activated charcoal as an additive to plant tissue culture media. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie*, 89(2), 141-147. [https://doi.org/10.1016/S0044-328X\(78\)80054](https://doi.org/10.1016/S0044-328X(78)80054)



# Potencial de los residuos agrícolas colombianos como materia prima sostenible para la producción de biomateriales y su papel en estrategias de bioeconomía circular

Claudia Patricia Tavera-Ruiz<sup>a\*</sup>, Mónica Viviana Sandoval Rincón<sup>b</sup>, Anastacio Rafael Serrano Zambrano<sup>b</sup>,

<sup>a\*</sup> [claudia.tavera@unipamplona.edu.co](mailto:claudia.tavera@unipamplona.edu.co), Universidad de Pamplona, Pamplona Colombia.

<sup>b</sup> [mosandovalr@unal.edu.co](mailto:mosandovalr@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, La Paz, Colombia.

<sup>c</sup> [aseraanoz@unal.edu.co](mailto:aseraanoz@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, La Paz, Colombia.

**Palabras clave:** biomasa, bioplásticos, materiales biocompuestos, biotecnología,

## Resumen

El sector agrícola colombiano, impulsado por su amplia diversidad climática y condiciones agroecológicas, genera grandes volúmenes de residuos lignocelulósicos provenientes tanto de la producción agrícola como del procesamiento agroindustrial. Sin embargo, una proporción significativa de esta biomasa es subutilizada o gestionada de manera inadecuada mediante prácticas como la quema a cielo abierto, la descomposición no controlada o su disposición en cuerpos de agua, lo que contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero, la degradación ambiental y la pérdida de valor económico potencial (Coppola et al., 2021). En este contexto, el presente trabajo desarrolla una revisión sistemática e integral orientada a evaluar el potencial de los residuos agroindustriales colombianos como materia prima sostenible para la producción de biomateriales dentro del marco de la bioeconomía circular. El estudio integra análisis cuantitativos y cualitativos de los principales cultivos del país, incluyendo palma de aceite, café, cacao, arroz, maíz, mango, plátano, piña y aguacate, considerando los tipos de residuos generados, sus tasas de generación y su composición fisicoquímica (DANE, 2020).

El presente estudio se desarrolló como una revisión sistemática de literatura, orientada a identificar, analizar y sintetizar la información disponible sobre los residuos agrícolas disponibles en Colombia con potencial para la producción de biomateriales. Inicialmente se identificaron los principales cultivos generadores de biomasa residual en Colombia y se revisó su composición. Posteriormente se analizaron diferentes rutas de valorización tecnológica, evaluando oportunidades, limitaciones y tendencias de investigación. La búsqueda de información se realizó en bases de datos científicas reconocidas como Scopus y Web of Science, utilizando combinaciones de palabras clave en inglés y operadores booleanos. Para garantizar rigor, transparencia y reproducibilidad, se aplicó la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses, siguiendo las etapas de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión. El proceso de selección se realizó siguiendo las cuatro etapas de PRISMA:

Se recuperaron inicialmente más de 300 documentos a partir de la búsqueda en bases de datos. Se eliminaron duplicados y se revisaron títulos y resúmenes, descartando aquellos que no cumplieran con el enfoque del estudio. Finalmente, se aplicaron criterios de exclusión e inclusión, seleccionando aproximadamente 120 artículos que cumplieron con todos los criterios, los cuales fueron analizados en profundidad. Los resultados evidencian que Colombia posee una ventaja estratégica excepcional en términos de disponibilidad de biomasa lignocelulósica, presentando una alta disponibilidad y un notable potencial composicional. Por ejemplo, la agroindustria de la palma de aceite genera hasta 3,3 millones de toneladas de biomasa sólida al año, mientras que en el procesamiento del café los residuos pueden representar hasta el 92% de la masa del fruto. De manera similar, cultivos como el plátano y el cacao generan entre el 70% y el 90% de biomasa residual respecto al producto cosechado. Estos residuos presentan altos contenidos de componentes lignocelulósicos, con valores de celulosa que frecuentemente superan el 30–50%, lo que los convierte en materias primas idóneas para la producción de biopolímeros, nanocelulosa y materiales compuestos.

En cuanto a las rutas de valorización, la valorización directa ha demostrado un alto potencial en la producción de biocompuestos y bioplásticos mediante la incorporación de residuos como borra de café,



cáscara de cacao y bagazo en matrices poliméricas (por ejemplo, PLA, PHBV y HDPE) (Dadras Chomachayi et al., 2025). La producción de nanocelulosa se posiciona como una de las aplicaciones más prometedoras, debido a su impacto en el desarrollo de bioplásticos y materiales avanzados. Los estudios muestran que los materiales obtenidos de biomasa pueden alcanzar propiedades mecánicas y térmicas competitivas, especialmente cuando se optimizan variables como la morfología de la fibra, su dispersión y la adhesión interfacial (Díaz-Gómez et al., 2025). Procesos como la pirólisis, la carbonización hidrotermal y la fermentación han sido aplicados exitosamente a residuos como la pulpa de café y el bagazo de caña para la producción de hidrochar, biocombustibles, aceites microbianos y biopolímeros. (Siddiqui et al., 2024). Con los resultados obtenidos se pudo concluir que Colombia cuenta con un portafolio de biomasa altamente prometedor que puede sustentar el desarrollo de biomateriales sostenibles y fortalecer la transición hacia una bioeconomía circular que genere nuevas oportunidades económicas en zonas rurales. El análisis evidencia que los residuos con mayor potencial no son necesariamente los más estudiados, por ejemplo, residuos de mango, plátano, y piña tienen un alto potencial pero son subexplorados, esto abre oportunidades claras de investigación aplicada, especialmente en regiones como el Caribe colombiano. Como limitaciones se identificaron la dificultad de escalabilidad e integración a los procesos existentes, el nivel TRL bajo de la mayoría de tecnologías y la desarticulación entre generación de biomasa y su aprovechamiento industrial.

## Referencias

Coppola, G., Gaudio, M. T., Lopresto, C. G., Calabro, V., Curcio, S., & Chakraborty, S. (2021). Bioplastic from Renewable Biomass: A Facile Solution for a Greener Environment. *Earth Systems and Environment*, 5(2), 231–251.

Dadras Chomachayi, M., Blanchet, P., & Pepin, S. (2025). Fully Bio-Based Composites Based on PHA and Cellulose Filaments: Investigating the Impact of Fiber Modification on Composite Properties. *Journal of Polymers and the Environment*, 3644–3662.

DANE. (2020). Encuesta nacional agropecuaria (ENA). *Información 2019*, (1), 1–89. [https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena#:~:text=Información 2019&text=El total del uso del,hectáreas \(2%2C6%25\).%0Ahttps://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuest](https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena#:~:text=Información 2019&text=El total del uso del,hectáreas (2%2C6%25).%0Ahttps://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuest)

Díaz-Gómez, F., León-Becerra, J., & Tavera-Ruiz, C. (2025). Mori-Tanaka homogenization for biocomposites: recycled PET and agroindustrial biomass integration. *Multidiscipline Modeling in Materials and Structures*, 21(5), 1195–1203.

Siddiqui, S. A., Yang, X., Deshmukh, R. A., Gaikwad, K. K., Bahmid, N. A., & Castro-Muñoz, R. (2024). Recent advances in reinforced bioplastics for food packaging - A critical review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 263.



## Extractos químicamente reciclados como fuente de inhibidores de lacasa

Camila Agustini<sup>a</sup>, Virginia Parés<sup>b</sup>, Ignacio Cabezudo<sup>c</sup>, Ricardo Furlan<sup>d</sup>, I. Ayelen Ramallo<sup>e\*</sup>

<sup>a</sup> *cammiagustini@gmail.com Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, Universidad Nacional de Rosario, Argentina*

<sup>b</sup> *virpares@gmail.com Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, Universidad Nacional de Rosario, Argentina*

<sup>c</sup> *nachocabe@hotmail.com Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, Universidad Nacional de Rosario, Argentina*

<sup>d</sup> *rfurlan@fbioyf.unr.edu.ar Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, Universidad Nacional de Rosario, Argentina*

<sup>e</sup> *aramallo@fbioyf.unr.edu.ar Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, Universidad Nacional de Rosario, Argentina*

**Palabras clave:** Bioautografía, TLC, Lacasa, Inhibidores

### Resumen

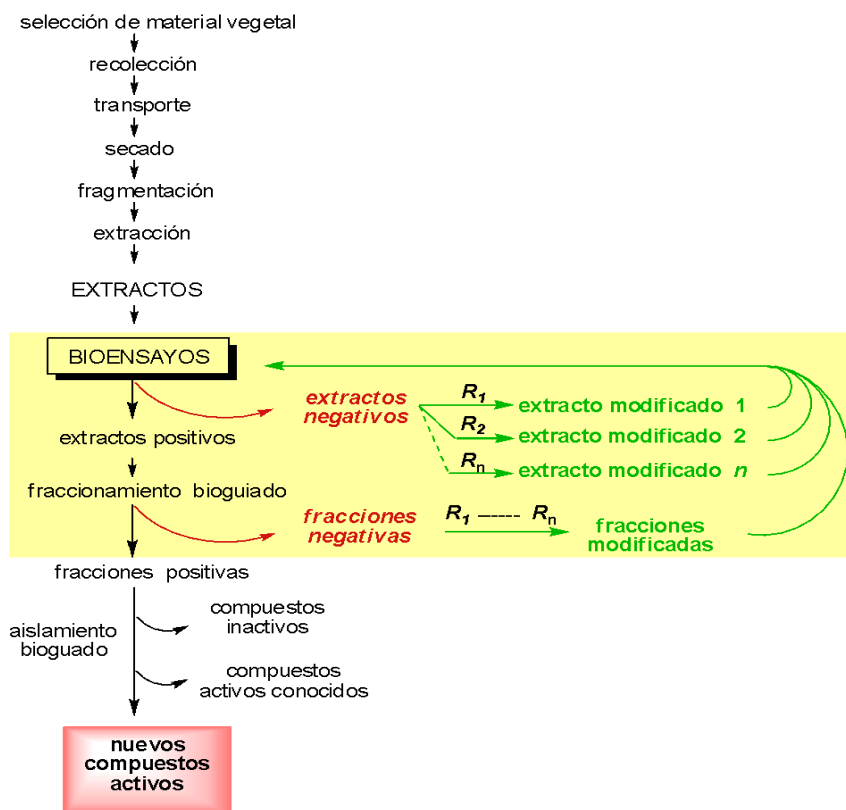
La obtención de un extracto vegetal es un proceso largo y costoso que involucra etapas como la recolección, el transporte, el secado, la fragmentación y la extracción (Figura 1), siendo esta última la que da lugar al extracto crudo, primera muestra analizable. Cuando se detecta actividad biológica, se inicia un fraccionamiento bio-guiado, que implica una extensa y costosa secuencia de separaciones y ensayos para aislar compuestos “líderes” a partir de mezclas complejas. Sin embargo, este proceso rara vez culmina con el aislamiento de compuestos activos, y una proporción significativa de los extractos resulta inactiva, evidenciando un uso ineficiente de recursos, donde tiempo, esfuerzo y costos quedan en gran medida desaprovechados. En este contexto, la Expansión de la Diversidad Molecular (DQE) surge como una estrategia para revertir esta ineficiencia mediante el reciclado y la modificación química de extractos — inactivos o activos—, generando “nuevos extractos” que reingresan a la ruta de descubrimiento de fármacos (López, 2007; Ramallo, 2011). Esta estrategia se basa en la selección y transformación de grupos funcionales, seguida del análisis de los cambios en composición y actividad biológica. Para evaluar el impacto de estas modificaciones, es clave monitorear simultáneamente la composición y la actividad de los componentes mediante técnicas que permitan su correlación directa. En este sentido, las herramientas bioautográficas resultan fundamentales, al combinar la separación por cromatografía en capa delgada con la detección *in situ* de la actividad biológica (Cabezudo, 2022).

En este trabajo se exploró la aplicación de reacciones de modificación química mediante hidracina ( $N_2H_4$ ) o hidroxilamina ( $NH_2OH$ ) para la generación de extractos con propiedades inhibitorias de la lacasa. Debido a su rol central en la oxidación de compuestos fenólicos y en la formación de pigmentos oscuros, la lacasa constituye un blanco atractivo para el desarrollo de inhibidores orientados al control del pardeamiento en sistemas alimentarios (Cabezudo, 2024). Se emplearon como material de partida 40 aceites esenciales inactivos frente a la lacasa, evaluados mediante cuantificación en microplaca. Estos fueron sometidos a reacciones de modificación química con  $N_2H_4 \cdot H_2O$  o  $NH_2OH \cdot HCl$  (Ramallo, 2018), generando un total de 80 extractos modificados. De acuerdo con el protocolo general, 0,5 g de muestra reaccionó con 13,3 mmol de reactivo bajo reflujo en EtOH durante 4 h. Los extractos modificados se evaluaron mediante bioautografía en cromatografía en capa delgada frente a la actividad lacasa. El 29% de los extractos mostró actividad inhibitoria, es decir presencia de halos de inhibición. Entre estos, el extracto de *Teobroma cacao* L. (cacao) modificado con  $NH_2OH$  resultó el más promisorio por su intensidad inhibitoria. A partir de este resultado, 0,6 g del extracto modificado se fraccionaron de forma guiada por bioautografía. El compuesto activo se identificó por RMN y GC-MS como (Z)-4-hidroxi-3-metoxibenzaldehído oxima, con fórmula molecular  $C_8H_9NO_3$ , confirmada por HRMS, generado por modificación de vainillina con la  $NH_2OH$ .





La modificación química de extractos inactivos permite generar nuevas actividades biológicas, incrementando la tasa de descubrimiento de compuestos activos y favoreciendo un uso más eficiente y sostenible de los recursos en el laboratorio.



**Figura 1.** Rol de la DQE en el proceso de descubrimiento de compuestos activos a partir de fuentes naturales.

## Referencias:

- López, S. N., Ramallo, I. A., González Sierra, M., Zacchino, S., & Furlán, R. (2007). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(2), 441–444. <https://doi.org/10.1073/pnas.0608438104>
- Ramallo, I. A., Salazar, M. O., Méndez, L., & Furlán, R. L. E. (2011). *Accounts of Chemical Research*, 44(4), 241–250. <https://doi.org/10.1021/ar100106n>
- Cabezudo, I., Salazar, M. O., Ramallo, I. A., & Furlán, R. L. E. (2022). *Food Chemistry*, 390, 132937. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132937>
- Cabezudo, I., & Furlán, R. L. E. (2024). *Food Chemistry*, 460(Pt 2), 140583. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024>
- Ramallo, I. A., Alonso, V., Rua, F., Serra, E., & Furlán, R. L. E. (2018). *ACS Combinatorial Science*, 20(4), 220–228. <https://doi.org/10.1021/acscmbosci.7b00172>



## Del residuo a la remediación: biocarbón y carbón activado de cáscara de cacao para la adsorción de glifosato

Karen Bibiana Quiroga Salinas<sup>a\*</sup>, María José Martínez Córdón<sup>b</sup>, Yazmin Yaneth Agámez Pertuz<sup>c</sup>

<sup>a</sup> [kquirogas@unal.edu.co](mailto:kquirogas@unal.edu.co), <sup>b</sup> [mjmartinezc@unal.edu.co](mailto:mjmartinezc@unal.edu.co), <sup>c</sup> [yyagamezp@unal.edu.co](mailto:yyagamezp@unal.edu.co) @unal.edu.co  
Universidad Nacional de Colombia, Bogotá

**Palabras clave:** Glifosato, Carbón activado, adsorción, remediación de suelos.

### Introducción

El glifosato es uno de los herbicidas más utilizados en la agricultura; sin embargo, su uso intensivo ha generado preocupación por su persistencia en el suelo y su impacto ambiental. En Colombia, cultivos como cacao y palma africana presentan un uso importante de este compuesto (Wang et al., 2024). En este contexto, la cáscara de cacao representa una biomasa de bajo costo y alto potencial para la obtención de biocarbones y carbones activados aplicados en la remediación de suelos contaminados. Por ello, este trabajo evaluó la adsorción de glifosato en suelo utilizando biocarbón y carbón activado obtenidos a partir de cáscara de cacao modificada con ácido fosfórico.

### Materiales y métodos

**Análisis micropróximo y elemental:** El análisis micropróximo se realizó por termogravimetría (TGA/DSC 1 STARe, Mettler Toledo) usando 8 mg de muestra para determinar humedad, materia volátil, cenizas y carbono fijo. El análisis elemental (C, H, N y S) se efectuó en un equipo LECO, mientras que el oxígeno se calculó por diferencia. El pH y la conductividad eléctrica se determinaron en suspensión acuosa de biocarbón con relación 1:20.

**Análisis FTIR-ATR y textural:** Los grupos funcionales se identificaron mediante espectroscopía infrarroja FTIR-ATR usando un equipo Thermo Fisher Scientific Nicolet iS10, en el rango de 3600–400 cm<sup>-1</sup>, con resolución de 4 cm<sup>-1</sup> y 16 escaneos por muestra. Las propiedades texturales se evaluaron mediante adsorción de N<sub>2</sub> a 77 K en un analizador Micromeritics Gemini 2375. Las muestras fueron desgasificadas a 200 °C durante 12 h.

**Preparación de biocarbón y carbón activado:** La carbonización de la cáscara de cacao se llevó a cabo en un reactor de tipo horno horizontal. La pirólisis se realizó a temperaturas entre 450 y 750 °C, con tiempo de residencia de 1 hora, bajo una atmósfera inerte y con una rampa de 10 °C min<sup>-1</sup>. Adicionalmente, la biomasa fue sometida a extracción Soxhlet con tolueno, secado e impregnación con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> en relación 1:3, seguida de pirólisis a 850 °C bajo atmósfera de N<sub>2</sub> para obtener el carbón activado.

**Ensayos de adsorción:** La cinética de adsorción se evaluó a tiempos de 1 a 48 h para determinar el equilibrio del sistema. Los ensayos de adsorción se realizaron por triplicado en suelo, biocarbón y mezclas suelo-biocarbón mediante el método batch equilibrium (OECD, 2000). La cuantificación se realizó por cromatografía iónica en un equipo Shimadzu Prominence IC. El suelo empleado fue recolectado en el municipio de Puerto Gaitán (Meta).

### Resultados y discusión



Se evaluaron biocarbones derivados de cáscara de cacao para identificar el material con mayor capacidad de adsorción de glifosato. Todos los materiales presentaron isothermas tipo IV(a) con histéresis H3-H4, características de materiales mesoporosos con poros en forma de rendija y superficies heterogéneas. El biocarbón (BC) obtenido a 450 °C presentó un área superficial BET de  $3,45 \pm 1,15 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  y el mejor desempeño, alcanzando una remoción de glifosato del 58 %, mientras que a mayores temperaturas el área aumentó hasta  $12,27 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , pero con menor capacidad de adsorción.

El análisis próximo de BC-450 evidenció un contenido significativo de carbono fijo (28,1 %) y baja humedad (6,9 %), mientras que el análisis elemental mostró un alto contenido de carbono (62,2 %) y oxígeno (33,8 %), indicando una estructura carbonosa con abundantes grupos funcionales oxigenados favorables para la adsorción. El FTIR mostró bandas características de O-H, C-H, C=O y C-O, destacándose los grupos carbonilo, los cuales favorecen la interacción con los grupos fosfonato, amino y carboxilo del glifosato mediante puentes de hidrógeno e interacciones electrostáticas.

Con el fin de mejorar la adsorción en suelo, la cáscara de cacao fue activada químicamente con  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . El carbón activado presentó isothermas tipo IV con histéresis H4, características de materiales mesoporosos, y un área superficial BET de  $1358,07 \pm 14,85 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ . Su composición elemental mostró un alto contenido de oxígeno (45,2 %) y carbono (53,5 %), además de grupos O-H, C=O, C-O y grupos fosforados superficiales como P-O-C y P=O identificados por FTIR, reflejando una superficie altamente funcionalizada.

La elevada cantidad de oxígeno favorece la formación de enlaces de hidrógeno, interacciones ácido-base y procesos de quimisorción con los grupos fosfonato y amino del glifosato, incrementando significativamente su retención (Zhelezova et al., 2017). El suelo utilizado, proveniente de Puerto Gaitán (Meta), presentó textura franco-arenosa, pH de 5,3, materia orgánica de 0,5 % y capacidad de intercambio catiónico de 9,12 meq/100 g, mientras que el carbón activado presentó un pH de 5,5, favoreciendo su compatibilidad en el sistema suelo-biocarbón. Como resultado, la adsorción de glifosato aumentó hasta 98 %, con un tiempo de equilibrio de 24 h, evidenciando el alto potencial del material para la remediación de suelos contaminados.

## Referencias:

- Wang, M., Rivenbark, K. J., & Phillips, T. D. (2024). Kinetics of glyphosate and aminomethylphosphonic acid sorption onto montmorillonite clays in soil and their translocation to genetically modified corn. *Journal of Environmental Sciences*, 135, 669–680. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.02.006>
- Zhelezova, A., Cederlund, H., & Stenström, J. (2017). Effect of Biochar Amendment and Ageing on Adsorption and Degradation of Two Herbicides. *Water, Air, and Soil Pollution*, 228(6). <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3392-7>



# Valorización de neumáticos fuera de uso como fuente de materiales carbonosos aplicados en procesos de carbocatálisis para la degradación de acetaminofén en aguas residuales

Juan David Valencia<sup>a\*</sup>, John Edison Mesa<sup>b</sup>, Laura Vanessa Castañeda<sup>c</sup>, Alba Nelly Ardila<sup>d</sup>

<sup>a\*</sup> [juan\\_valencia64191@elpoli.edu.co](mailto:juan_valencia64191@elpoli.edu.co), Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín

<sup>b</sup> [jemesa@est.colmayor.edu.co](mailto:jemesa@est.colmayor.edu.co), Institución, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín

<sup>c</sup> [lvcastanneda@colmayor.edu.co](mailto:lvcastanneda@colmayor.edu.co), Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín

<sup>d</sup> [anardila@elpoli.edu.co](mailto:anardila@elpoli.edu.co), Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín

**Palabras clave:** carbocatálisis; neumáticos fuera de uso; peroximonosulfato; acetaminofén

## Resumen

La creciente generación de neumáticos fuera de uso (NFU) representa una problemática ambiental severa debido a sus potenciales efectos adversos en los ecosistemas (Kanan et al., 2025). Por otra parte, la presencia de contaminantes de preocupación emergente como el acetaminofén (ACT) en cuerpos de agua, ha despertado un gran interés científico en los últimos años debido a su persistencia y limitada remoción bajo tratamientos convencionales (Sun et al., 2024). En este trabajo se evaluó la valorización de NFU mediante pirólisis térmica para la obtención de un material carbonoso (CM) y su aplicación como carbocatalizador en la activación de peroximonosulfato (PMS) para la degradación de ACT en sistemas acuosos.

El CM fue sintetizado a 650 °C y caracterizado mediante diversos análisis fisicoquímicos (**Tabla 1**). El material presentó un área superficial BET de 71 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, punto isoeléctrico de 7.51, con presencia de grupos fenólicos (366.6 μmol g<sup>-1</sup>) y una estructura predominantemente desordenada con abundantes defectos y heteroátomos (N, S), evidenciados por FT-IR y espectroscopía Raman ( $I_D/I_G > 1$ ) (Chana et al., 2025). La morfología a través de SEM-EDS mostró una estructura heterogénea con presencia de fases inorgánicas como Zn, Fe, y Si.

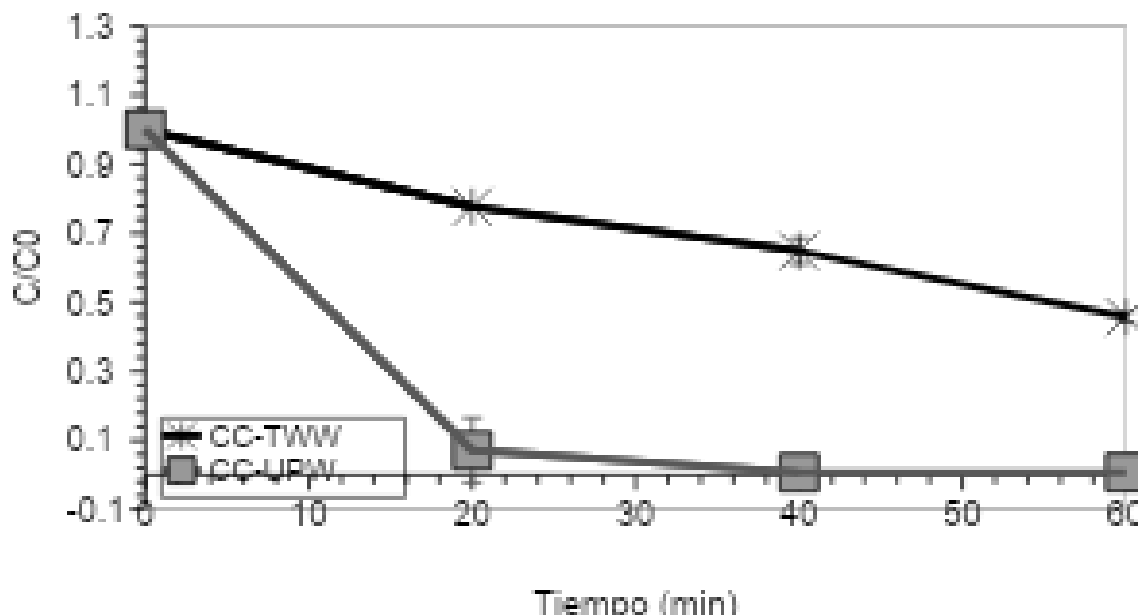
**Tabla 1.** Resultados fisicoquímicos de la caracterización del CM.

| Parámetro                                              | Valor |
|--------------------------------------------------------|-------|
| Área superficial BET (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ) | 71    |
| Punto isoeléctrico (pI <sub>pH</sub> )                 | 7.51  |
| Grupos fenólicos (μmol g <sup>-1</sup> )               | 366.6 |

La actividad carbocatalítica fue evaluada en la degradación de ACT (1 mg L<sup>-1</sup>) en agua ultrapura (UPW) y agua residual tratada (TWW). Los sistemas combinados CM/PMS alcanzaron remociones superiores al 60% en 20 min, superando significativamente los procesos individuales de adsorción (<10%) y oxidación (<30%) en UPW. Bajo condiciones óptimas (150 mg L<sup>-1</sup> CM y 1 mM PMS), se logró una remoción de 92.9% del ACT. Los factores de sinergia (S>1) confirmaron una interacción catalítica efectiva entre el material y el oxidante.







**Figura 1.** Degradación carbocatalítica de acetaminofén en agua ultrapura (CC-UPW) y en agua residual tratada (CC-TWW).

La eficiencia del sistema disminuyó en TWW debido a efectos de matriz (**Figura 1**), posiblemente asociado a la presencia de especies disueltas. El comportamiento observado sugiere que la complejidad de la matriz afecta la disponibilidad de especies reactivas y la eficiencia global del sistema carbocatalítico.

Estos resultados demuestran que los NFU podrían ser precursores viables para la producción de carbocatalizadores eficientes en procesos de oxidación avanzada (Zhong et al., 2025), contribuyendo a estrategias sostenibles de tratamiento de aguas y valorización de residuos bajo un enfoque de economía circular.

## Referencias:

- Chana, K., Chen, B. H., & Na-Ranong, D. (2025). Biodiesel produced from transesterification of palm oil using NaOH-treated activated carbon and pyrolytic char of used tires as catalysts. *Process Safety and Environmental Protection*, 195. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.01.004>
- Kanan, S., Samara, F., Dronjak, L., Mahasneh, A., Moyet, M., Obeideen, K., & Gopal, V. (2025). Recent advances on dioxin and furan (dibenzofuran) based pollutants from analytical, environmental, and health perspectives. *Chemosphere*, 372. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2025.144120>
- Sun, M., Fang, W., Liang, Q., Xing, Y., Lin, L., & Luo, H. (2024). Efficient acetaminophen degradation via peroxymonosulfate activation by Mn/N co-doped biochar: Performance, mechanism and approach. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(3). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112647>
- Zhong, S., Tian, Y., Chen, C., Nie, B., Wang, H., & Zhang, S. (2025). Roles of intrinsic defects on nitrogen, sulfur-codoped biochar in peroxymonosulfate activation toward organic contaminants degradation. *Chemical Engineering Journal*, 506. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.160062>



# Remoción de ibuprofeno mediante materiales compuestos carbón/ZnO obtenidos a partir de residuos industriales

**Maria Paula Echeverría Echeverría<sup>a</sup>**, Manuela Lara Vásquez<sup>b</sup>, Leidy Astrid Hoyos Giraldo<sup>c</sup>, Alba Nelly Ardila Arias<sup>d</sup>.

<sup>a</sup> maria.echeverria@correo.tdea.edu.co, Grupo CBATA, Tecnológico de Antioquia.

<sup>b</sup> laravasquezmanuela@gmail.com, Grupo CBATA, Tecnológico de Antioquia.

<sup>c</sup> leidy.hoyos@tdea.edu.co, Grupo CBATA, Tecnológico de Antioquia.

<sup>d</sup> anardila@elpoli.edu.co, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín

**Palabras clave:** *Ibuprofeno; carbón derivado de residuos; óxido de zinc; residuos industriales; adsorción–fotocatálisis.*

## Resumen

El incremento en el consumo de productos farmacéuticos y la limitada eficiencia de los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales han favorecido la presencia de contaminantes emergentes en cuerpos hídricos. Entre ellos, el ibuprofeno, ampliamente utilizado como antiinflamatorio no esteroideo, representa una preocupación ambiental debido a su persistencia, baja biodegradabilidad y potencial impacto ecotoxicológico sobre organismos acuáticos. De manera paralela, la acumulación de residuos plásticos, especialmente polietileno tereftalato (PET), constituye una problemática ambiental crítica por su alta estabilidad química, lenta degradación y contribución a la formación de microplásticos (Guo et al., 2025). En este contexto, la valorización de residuos industriales mediante procesos termoquímicos surge como una estrategia de economía circular, al permitir la transformación de un residuo de difícil disposición en materiales carbonosos funcionales con aplicaciones ambientales. Los materiales carbonosos obtenidos a partir de residuos plásticos pueden presentar elevada área superficial, estructura porosa y sitios activos capaces de favorecer la interacción con contaminantes orgánicos presentes en agua. Estas propiedades los convierten en soportes adecuados para procesos de adsorción; sin embargo, la adsorción por sí sola implica principalmente la transferencia del contaminante desde la fase acuosa hacia el sólido, sin garantizar su degradación definitiva. Por ello, la integración de estos materiales con semiconductores fotocatalíticos constituye una alternativa prometedora para combinar la capacidad adsorbente del carbono con la generación de especies reactivas responsables de la degradación del contaminante. En este tipo de sistemas híbridos, el carbono puede actuar como soporte, fase adsorbente y facilitador de la separación de cargas, mientras que el semiconductor contribuye a la degradación del compuesto orgánico bajo irradiación (Amorós-Pérez et al., 2021; Salah et al., 2024). Dentro de los semiconductores empleados en fotocatálisis, el óxido de zinc (ZnO) se ha destacado por sus propiedades electrónicas, capacidad de generación de especies reactivas y viabilidad económica frente a otros fotocatalizadores convencionales (Salah et al., 2024). En este trabajo los materiales carbonosos fueron obtenidos a partir de residuos plásticos industriales los cuales fueron sonicados a 80 y 100 kHz durante 10 min; posteriormente, fueron filtrados, secados a 100 °C durante 1 h y sometidos a pirólisis en atmósfera de nitrógeno a 700 °C durante 2 h, con una rampa de calentamiento de 10 °C/min y flujo de N<sub>2</sub> de 200 mL/min, obteniendo los materiales C80 y C100, asociados a la amplitud de sonicación. La incorporación de ZnO se realizó mediante impregnación con una solución de acetato de zinc obtenido a partir de residuos, para obtener los materiales compuestos C80/ZnO y C100/ZnO. La remoción de ibuprofeno se evaluó en un reactor batch con agitación constante, considerando una etapa inicial en oscuridad para favorecer la adsorción y una etapa posterior bajo irradiación UV para promover la degradación, realizando el seguimiento del proceso mediante espectrofotometría UV-Vis. Se observa que al aumentar la sonicación conduce a la formación de un material con mayor área superficial y volumen de poro, lo cual favorece la adsorción del ibuprofeno y la interacción con los sitios fotocatalíticos del ZnO (Tabla 1). Ambos materiales

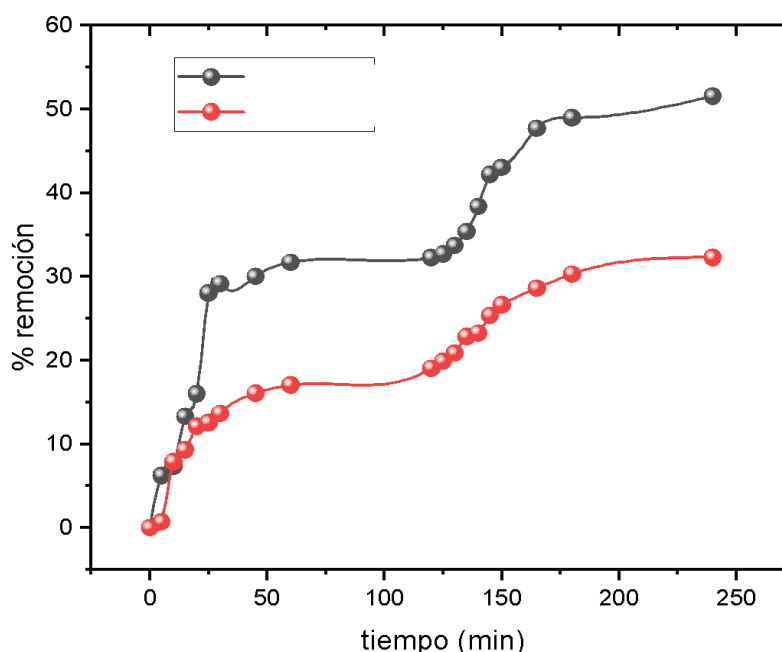


compuestos presentaron capacidad para disminuir la concentración del contaminante en solución acuosa (Gráfica 1). Sin embargo, el material C100/ZnO evidenció el mejor desempeño, alcanzando porcentajes de remoción cercanos a 80–90 % al final del proceso, lo cual se atribuye a una mayor área superficial del soporte carbonoso, un mayor volumen de poro, lo que favorece una mejor dispersión del ZnO sobre la matriz de carbono.

**Tabla 1.** Caracterización textural de los materiales carbonosos.

| Muestra | Área BET (m <sup>2</sup> /g) | Volumen de Poro (cm <sup>3</sup> /g) | Diámetro de poro (nm) |
|---------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| C100    | 448.0                        | 0.01415                              | 2.00                  |
| C80     | 425.0                        | 0.01104                              | 1.95                  |

**Gráfica 1.** Resultados de remoción de ibuprofeno.



## Referencias:

Amorós-Pérez, A., Lillo-Ródenas, M. Á., Román-Martínez, M. del C., García-Muñoz, P., & Keller, N. (2021). TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>-Carbon Hybrid Photocatalysts for Diuron Removal from Water. *Catalysts*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/catal11040457>

Guo, Z., Wu, J., & Wang, J. (2025). Chemical degradation and recycling of polyethylene terephthalate (PET): a review. *RSC Sustainability*, 3(5), 2111–2133. <https://doi.org/10.1039/D4SU00658E>

Salah, W., Djeridi, W., Houas, A., & Elsellami, L. (2024). Synergy between activated carbon and ZnO: a powerful combination for selective adsorption and photocatalytic degradation. *Mater. Adv.*, 5(4), 1667–1675. <https://doi.org/10.1039/D3MA01171B>



## Aprovechamiento de residuos de aguacate para el desarrollo de adsorbentes carbonosos orientados a la remoción de azitromicina y diclofenaco en agua.

Alba Nelly Ardila Arias<sup>a</sup>, **Salomé Gonzalez Ramirez<sup>b</sup>**, Leidy Astrid Hoyos Giraldo<sup>c\*</sup>, **Ximena Lujan Aguilar<sup>d</sup>**, Sergio Valencia Hurtado<sup>e</sup>

<sup>a</sup>anardila@elpoli.edu.co, *Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín*

<sup>b</sup>salome.gonzalez231@tau.usbmed.edu.co, *Universidad de San Buenaventura, Medellín*

<sup>c</sup>leidy.hoyos@tdea.edu.co, *Tecnológico de Antioquia, Medellín*

<sup>d</sup>ximena.lujan231@tau.usbmed.edu.co, *Universidad de San Buenaventura, Medellín*

<sup>e</sup>sergio.valencia@tdea.edu.co, *Tecnológico de Antioquia, Medellín*

**Palabras clave:** *Biocarbón, Adsorción, Contaminantes Farmacéuticos, Aguas Residuales.*

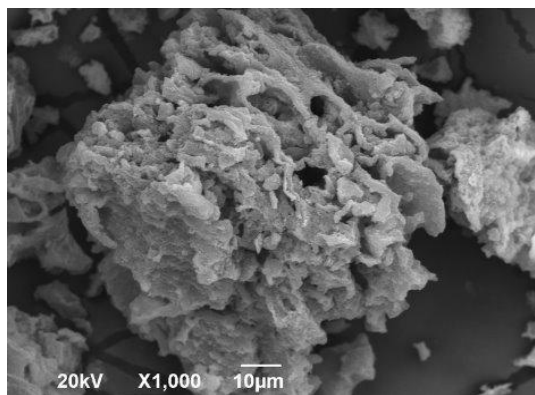
### Resumen

La presencia de contaminantes farmacéuticos emergentes en cuerpos de agua constituye una problemática ambiental de creciente interés, debido a que muchos de estos compuestos no son completamente removidos por los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales. Entre ellos, antibióticos como la azitromicina y antiinflamatorios como el diclofenaco han sido reportados por su persistencia, baja biodegradabilidad y posibles efectos adversos sobre los ecosistemas acuáticos (Aus der Beek et al., 2010; Zhang, 2026). Esta situación evidencia la necesidad de desarrollar tecnologías alternativas que permitan mejorar su remoción y, al mismo tiempo, respondan a criterios de sostenibilidad, bajo costo y economía circular. En este contexto, los materiales carbonosos obtenidos a partir de residuos agroindustriales representan una opción promisoría, ya que permiten valorizar biomasa residual y obtener materiales para el tratamiento de aguas contaminadas (Scaria et al., 2022). En este trabajo se evaluó el potencial del biocarbón obtenido a partir de cáscara de aguacate por síntesis hidrotérmica como material adsorbente y soporte catalítico para la remoción de azitromicina y diclofenaco en soluciones acuosas. El biocarbón fue modificado con dióxido de titanio,  $\text{TiO}_2$ , en una relación 1:5, para obtener un material híbrido con capacidad adsorbente y fotocatalítica. Los ensayos de remoción se desarrollaron en sistemas por lotes. Estudios previos han demostrado que tanto la azitromicina como el diclofenaco presentan procesos de adsorción que se ajustan al modelo de Langmuir y siguen cinéticas de pseudo-segundo orden, lo que sugiere que ambos presentan una interacción predominante en la superficie del adsorbente (Kocabiyik, 2024; Castro Jiménez, 2025). Al integrar adsorción y fotocátalisis se retienen los contaminantes sobre la superficie del material y se favorece su degradación, lo cual puede contribuir a disminuir la saturación del adsorbente y mejorar el desempeño global del sistema. Asimismo, se observó que variables como la dosis del material y el tiempo de exposición a la radiación influyeron de manera significativa en la eficiencia del proceso. En términos comparativos, se identificaron diferencias en la respuesta de la azitromicina y el diclofenaco, lo que sugiere que la naturaleza química del contaminante desempeña un papel determinante en la eficiencia de remoción. Este hallazgo resalta la importancia de no generalizar el desempeño de un material frente a todos los contaminantes farmacéuticos, sino de considerar

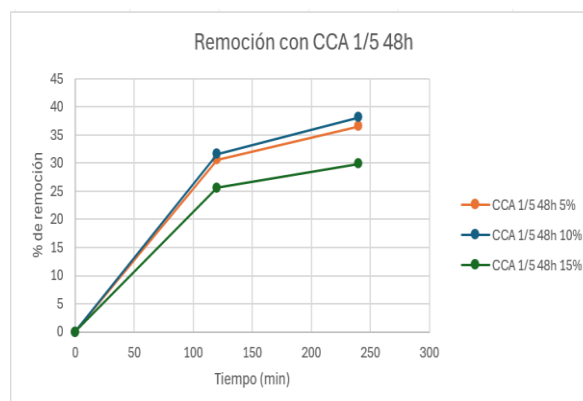




las particularidades estructurales y fisicoquímicas de cada compuesto. En conclusión, el biocarbón derivado de cáscara de aguacate y modificado con  $\text{TiO}_2$  se presenta como una alternativa prometedora para la remoción de contaminantes farmacéuticos emergentes en agua.



**Figura 1.** SEM CCA 1/5 48h 10%  $\text{TiO}_2$



**Gráfica 1.** Resultados de remoción de diclofenaco.

## Referencias:

- Aus der Beek, T., Weber, F. A., Bergmann, A., Hickmann, S., Ebert, I., Hein, A., & Küster, A. (2010). A review of the occurrence of pharmaceutical compounds in aquatic environments. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29(5), 1051–1063. <https://doi.org/10.1002/etc.348>
- Castro-Jiménez, C. C., Saldarriaga-Molina, J. C., García, E. F., Torres-Palma, R. A., & Acelas, N. (2025). Azithromycin removal from water via adsorption on drinking water sludge-derived materials: Kinetics and isotherms studies. *PLoS ONE*, 20(1), e0316487. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0316487>
- Kocabıyık, B., Üner, O., & Geçgel, Ü. (2024). Diclofenac sodium adsorption in aqueous media by activated carbon obtained from einkorn (*Triticum monococcum* L.) husk. *Adsorption*, 30(6), 1033–1046. <https://doi.org/10.1007/s10450-024-00479-2>
- Scaria, J., Kalarikkal, N., & Thomas, S. (2022). Carbonaceous materials as effective adsorbents and catalysts for the removal of emerging contaminants from water. *Journal of Cleaner Production*, 350, 131319. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131319>
- Zhang, H., Li, Y., & Wang, Q. (2026). Pharmaceutical pollutants in wastewater treatment plants: A global review of occurrence, treatment efficiency, and implications for receiving water bodies. *Next Research*, 2.



# Evaluación de la potencialidad de diferentes fuentes de biomasa residual de banano para la obtención de biochar

Efraín Villegas González <sup>a\*</sup>, Alba N. Ardila A. <sup>b</sup>, Rolando Barrera Zapata <sup>c</sup>

<sup>a</sup> [efrainvillegas@elpoli.edu.co](mailto:efrainvillegas@elpoli.edu.co), Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín

<sup>b</sup> [anardila@elpoli.edu.co](mailto:anardila@elpoli.edu.co), Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín

<sup>c</sup> [rolando.barrera@udea.edu.co](mailto:rolando.barrera@udea.edu.co), Universidad de Antioquia, Medellín

**Palabras clave:** Biochar, Residuos de Banano, Pirólisis, Valorización termoquímica.

## Resumen

La gestión de residuos lignocelulósicos provenientes de la agroindustria bananera (*Musa spp.*) constituye un desafío crítico para la sostenibilidad ambiental en regiones productoras, debido a la acumulación masiva de biomasa postcosecha (Patil et al., 2024). Entre las alternativas de valorización de estos residuos destaca la producción de materiales carbonosos, como el biochar (Vijayprakash et al., 2025). No obstante, la selección de la biomasa más adecuada para este fin requiere un conocimiento detallado de sus características fisicoquímicas, incluyendo la composición en carbohidratos estructurales (celulosa, hemicelulosa y lignina), la composición elemental y su comportamiento termogravimétrico. Estos parámetros permiten evaluar la viabilidad de los materiales como precursores en la obtención de biochar. En el presente estudio se investigó el potencial de diferentes fuentes de biomasa residual de banano (pseudotallo, hojas y raquis) para la producción de biochar. Las muestras fueron sometidas a un pretratamiento que incluyó secado, molienda y tamizado. La cuantificación de los carbohidratos estructurales se realizó siguiendo el protocolo NREL/TP-510 y el método ASTM D-1104. Asimismo, la degradación térmica de las biomásas fue evaluada mediante análisis termogravimétrico (TGA). Finalmente, se llevaron a cabo pruebas preliminares de pirólisis en un reactor batch, bajo condiciones controladas de temperatura y flujo de nitrógeno.

El análisis de la composición lignocelulósica y elemental de las biomásas evidencia diferencias estructurales que determinan su comportamiento termoquímico y su potencialidad como precursores de biochar. El raquis (RQ) se caracterizó por su elevada fracción celulósica (64.67%) y un contenido mineral moderado (14.67%), lo que favorece la formación de estructuras carbonosas a partir de la despolimerización de polisacáridos y su posterior reorganización aromática. Su relación C/N (25.71) refuerza su potencial para generar un material estable en suelo perfilándose como un soporte idóneo para la formulación de fertilizantes nitrogenados de liberación lenta (Ramesh & Raghavan, 2024). En contraste, las hojas (HJ) presentan el mayor contenido de lignina (17.26%), lo que incrementa su resistencia a la degradación y promueve la formación de biochars; sin embargo, su alta carga inorgánica (37.24%) puede comprometer el desarrollo de porosidad, aunque aporta una fracción mineral activa de interés agronómico. Por su parte, el pseudotallo (BPS), pese a su mayor contenido de carbono (43.3%), exhibe una baja lignificación (7.58%) y predominio de hemicelulosa, lo que sugiere una matriz estructural más inestable, con menor tendencia a la carbonización en fase sólida.



**Tabla.** Caracterización lignocelulósica, elemental y comportamiento termogravimétrico de biomasas de banano

| Carbohidratos (%) |         |              |          | Composición elemental (%) |      |      |       | Relación elemental | Cenizas TGA | Rendimiento Biocarbon |
|-------------------|---------|--------------|----------|---------------------------|------|------|-------|--------------------|-------------|-----------------------|
| Código            | Lignina | Hemicelulosa | Celulosa | C                         | H    | N    | O     | C/N                | %           | %                     |
| BPS               | 7.58    | 72.98        | 56.27    | 43.3                      | 4.98 | 0.0  | 51.73 | No definida        | 5.59        | 5.59                  |
| RQ                | 12.45   | 65.27        | 64.67    | 28.8                      | 4.62 | 1.12 | 65.46 | 25.71              | 14.67       | 14.67                 |
| HJ                | 17.26   | 72.56        | 55.26    | 39.2                      | 5.53 | 1.65 | 53.62 | 23.76              | 37.24       | 37.24                 |

El análisis termogravimétrico de las matrices lignocelulósicas de banano es determinante (Nepomucena et al., 2025). En las tres biomásas se identificaron tres eventos de degradación: eliminación de humedad y compuestos volátiles ligeros (25-150 °C), descomposición de hemicelulosa y celulosa (200-480 °C) y degradación progresiva de la lignina con consolidación de la matriz carbonosa (>480 °C). En este contexto, el RQ mostró un comportamiento diferenciado asociado a su contenido mineral, donde la presencia de K y Ca favorece la ruptura de enlaces glucosídicos a menores energías de activación, desplazando la temperatura de máxima degradación (Tmax) y promoviendo reacciones de policondensación tempranas, lo que resulta clave en la formación de una estructura carbonosa más eficiente. Esto evidencia que la reactividad térmica no depende exclusivamente del carbono inicial, sino de la interacción entre la fracción orgánica y mineral. En concordancia, los ensayos de pirólisis muestran que el RQ alcanzó el mayor rendimiento de biochar (24.12%), seguido por HJ (21.59%) y BPS (19.11%). El desempeño del raquis se atribuye a su balance estructural, mientras que en las hojas el rendimiento se asocia a la estabilidad de la red lignínica. En contraste, el pseudotallo presenta mayor tendencia a la volatilización, favoreciendo la formación de fracciones líquidas y gaseosas sobre la fase sólida.

## Referencias

- Nepomucena, T. V., Faria, M. S. L., Andrade, T. A., Moreira, R. P. L., Sousa, R. C. S., & Borges, A. C. (2025). Co-Pyrolysis of Banana Pseudostem and Plastic Waste by Thermogravimetry: Kinetics and Modeling with Artificial Neural Networks. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 64(12), 6376-6392. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.4c04723>
- Patil, H., Naik, R., & Paramasivam, S. K. (2024). Utilization of banana crop ligno-cellulosic waste for sustainable development of biomaterials and nanocomposites. *International Journal of Biological Macromolecules*, 282, 137065. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137065>
- Ramesh, K., & Raghavan, V. (2024). Agricultural waste-derived biochar-based nitrogenous fertilizer for slow-release applications. *ACS Omega*, 9(4), 4377-4385. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c06687>
- Vijayprakash, M., Rajagopalan, V., & Keerthivasan, N. (2025). Carbon mitigation potential of banana crops biomass and biochar in tropical semi-arid region of India. *Global NEST Journal*, 27(7), 1-14. <https://doi.org/10.30955/gnj.07413>

## Óxidos de manganeso obtenidos de baterías recicladas en la degradación fotocatalítica de colorante azul 21

Alba N. Ardila A<sup>a\*</sup>, Misael Cordoba Arroyo<sup>a\*</sup>, Joseph Murillo P<sup>a</sup>, Melissa Arango Álvarez<sup>a</sup>, Erasmo Arriola-Villaseñor <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Grupo de Investigación en Catálisis Ambiental y Energías Renovables, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín

**Palabras clave:** Baterías recicladas, fotocátalisis, óxido de manganeso, degradación de colorantes

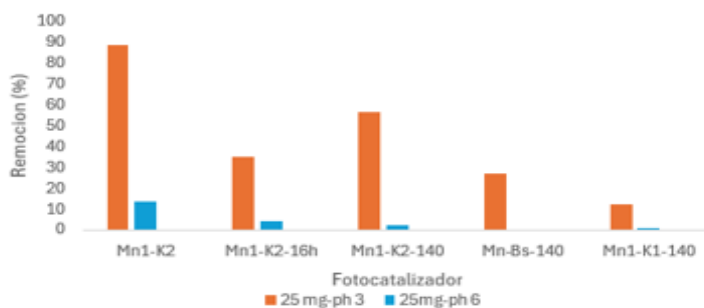
**Resumen** La acumulación de baterías alcalinas agotadas y la presencia de colorantes sintéticos en efluentes industriales constituyen dos problemáticas ambientales de alta relevancia, debido tanto a su persistencia como a su potencial toxicidad. En este contexto, la valorización de residuos mediante la obtención de materiales funcionales constituye una estrategia alineada con los principios de la economía circular. En particular, los óxidos de manganeso (MnO<sub>x</sub>) han demostrado ser materiales prometedores en aplicaciones catalíticas y fotocatalíticas, debido a su versatilidad estructural, propiedades redox y comportamiento semiconductor. En este trabajo se propone la síntesis de materiales de MnO<sub>x</sub> a partir de baterías alcalinas recicladas, su modificación mediante tratamiento hidrotérmico y su aplicación en la degradación fotocatalítica del colorante azul 21 en solución acuosa. El proceso experimental consistió con la recolección, clasificación y desensamblaje de baterías alcalinas. El material catódico fue separado, triturado y tamizado hasta obtener una fracción menor a 180  $\mu\text{m}$ , el cual fue empleado como materia prima para la recuperación del manganeso. Para esta recuperación se lixivió este material con solución compuesta por ácido cítrico, HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, con agitación constante a temperatura ambiente por 3 h. En este proceso se obtuvieron soluciones con altas concentraciones de manganeso. A partir de estas soluciones se realizó la síntesis hidrotérmica de los materiales MnO<sub>x</sub>, en el cual se evaluaron variables como la relación molar Mn:KMnO<sub>4</sub>, pH de síntesis, temperatura (85 y 140 °C) y el tiempo de reacción. Posteriormente, los sólidos obtenidos fueron sometidos a procesos de filtración, lavado hasta pH neutro y secado a 80 °C. Este proceso permitió modificar las propiedades fisicoquímicas de los materiales, generando una amplia diversidad de estructuras MnO<sub>x</sub> con características diferenciadas las cuales pueden mejorar el proceso de fotocátalisis. Para evaluar estas propiedades los catalizadores fueron caracterizados mediante diferentes técnicas con fisisorción de N<sub>2</sub> (S<sub>BET</sub>), Microscopia electrónica de Transmisión (SEM), Espectroscopia ultravioleta visible (Uv-vis), entre otras. La actividad fotocatalítica de los MnO<sub>x</sub> se evaluó en la degradación del colorante azul 21 en solución acuosa (30 ppm), empleando un sistema de irradiación UV en el rango de 315–400 nm con una potencia de 15 W. Las pruebas se realizaron bajo diferentes condiciones de pH (3 y 6), variando la carga de catalizador entre 25 y 200 mg, con un tiempo total de proceso de fotocátalisis de 3 h. Previo al proceso de irradiación, las suspensiones se mantuvieron en oscuridad durante 30 minutos con el fin de establecer el equilibrio adsorción–desorción.





**Tabla 1.** Características fisicoquímicas de los fotocatalizadores derivados de manganeso

| Muestra    | Área superficial<br>BET (m <sup>2</sup> /g) | Band Gap<br>(eV) |
|------------|---------------------------------------------|------------------|
| Mn1-K1     | 93.06                                       | 2.40             |
| Mn1-K2     | 179.92                                      | 2.44             |
| Mn-Bs      | 180.54                                      | 2.70             |
| Mn1-K1-16h | 209.49                                      | 2.08             |
| Mn1-K2-16h | 225.24                                      | 2.30             |
| Mn1-K1-140 | 44.05                                       | 3.30             |
| Mn1-K2-140 | 131.81                                      | 2.70             |
| Mn-Bs-140  | 27.50                                       | 3.20             |



**Figura 1** Remoción del colorante azul 21 en función del fotocatalizador a pH≈3

La **Tabla 1** presenta los valores de área superficial (SBET) y energía de banda prohibida (Band Gap), evidenciando que las condiciones de síntesis hidrotérmica influyen significativamente en estas propiedades. Se obtuvieron áreas superficiales entre 27 y 225 m<sup>2</sup>/g, destacándose los materiales sintetizados durante 16 h con mayores valores. Los análisis UV-Vis en reflectancia difusa mostraron valores de band gap entre 2.30 y 3.30 eV, confirmando la naturaleza semiconductora y el potencial fotocatalítico de los materiales. En la **Figura 1**, los resultados fotocatalíticos muestran que el pH es un factor determinante en la degradación. A pH = 3, se obtuvieron los mayores porcentajes de remoción, destacándose Mn1-K2 (89.06%), Mn1-K2-140 (56.92%) y Mn1-K2-16h (35%). Este comportamiento se atribuye a una mayor generación de radicales hidroxilos ( $\cdot\text{OH}$ ) y a una interacción electrostática favorable entre el catalizador y el colorante. Asimismo, los materiales con mayor área superficial y menor band gap presentaron mejor desempeño, sugiriendo mayor disponibilidad de sitios activos y eficiente separación electrón-hueco. En contraste, a pH = 6, la degradación fue significativamente menor, indicando una inhibición parcial del proceso. En conjunto, los resultados evidencian una relación directa entre las condiciones de síntesis, propiedades fisicoquímicas y actividad fotocatalítica. Los materiales con alta área superficial y menor band gap mostraron mayor eficiencia, demostrando la viabilidad de transformar residuos de baterías alcalinas en fotocatalizadores funcionales para el tratamiento de efluentes con colorantes. Estudios futuros deberán evaluar la estabilidad, intermediarios y cinética del proceso para optimizar su aplicación.

## Referencias

Ishaque, M. Z., Khan, A., & Hussain, S. (2026). Tunable band gap engineering and photocatalytic efficiency of MnO/CuO/ZnO ternary nanocomposites for efficient photocatalytic degradation. *Inorganic Chemistry Communications*, 184, 115894. <https://doi.org/10.1016/j-inoche.2025.115894>



# Solventes eutécticos profundos para el reciclaje sostenible de baterías de ion litio: tendencias, avances y desafíos desde un enfoque cuantitativo

Luisa Marcela Castillo Chica<sup>a\*</sup>, Luz Marina Ocampo Carmona<sup>b</sup>.

<sup>a</sup> lcastilloch@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

<sup>b</sup> lmocampo@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

**Palabras clave:** Solventes eutécticos profundos, reciclaje de baterías, recuperación de metales, análisis cuantitativo.

## Resumen

El crecimiento acelerado del mercado de baterías de ion litio (LIB) y la generación progresiva de residuos asociados a su disposición final han impulsado el desarrollo de tecnologías de reciclaje más sostenibles y eficientes. En este contexto, los solventes eutécticos profundos (DES, por sus siglas en inglés) han emergido como una alternativa promisorio frente a los métodos convencionales de pirometalurgia e hidrometalurgia, debido a su baja toxicidad, biodegradabilidad, facilidad de síntesis y capacidad de recuperación selectiva de metales bajo condiciones moderadas (Cao et al., 2025; Kityk et al., 2024).

Este trabajo tuvo como objetivo analizar las tendencias, avances, desafíos y perspectivas de investigación relacionadas con el uso de DES en el reciclaje de baterías de ion litio mediante un enfoque cuantitativo. La recopilación de información se realizó a partir de búsquedas sistemáticas en las bases de datos Scopus y Web of Science (WoS) para el periodo 2019–2026, utilizando ecuaciones de búsqueda enfocadas en solventes eutécticos profundos, reciclaje de baterías y recuperación de metales críticos. Los registros bibliográficos fueron procesados mediante el paquete Bibliometrix en RStudio y complementados con la plataforma Tree of Science (ToS), permitiendo evaluar la evolución de la producción científica, redes de colaboración, distribución geográfica, revistas de mayor impacto y estructura conceptual del campo (Robledo et al., 2024). Los resultados evidencian un crecimiento sostenido de la producción científica a partir de 2020, asociado al fortalecimiento de políticas de economía circular, la expansión global del mercado de baterías y la necesidad de recuperar metales estratégicos como litio, cobalto, níquel y manganeso (European Commission, 2020; Greitemeier et al., 2025). China lidera ampliamente la producción científica debido a su posición estratégica dentro de la cadena global de suministro de baterías y al desarrollo de tecnologías orientadas al reciclaje y valorización de materiales (Greitemeier et al., 2025). Asimismo, revistas como Separation and Purification Technology, Green Chemistry y Waste Management concentran una parte importante de las publicaciones del área, reflejando el interés creciente por procesos sostenibles de recuperación de metales.

El análisis de co-ocurrencia de palabras clave permitió identificar líneas de investigación enfocadas en la recuperación selectiva de metales, optimización de procesos de lixiviación y estudio de las propiedades fisicoquímicas de los DES. De igual forma, el análisis estructural realizado mediante Tree of Science mostró una evolución del campo orientada hacia el diseño racional de solventes, estrategias avanzadas de separación selectiva, intensificación de procesos y valorización integral de residuos. Entre los avances recientes destacan el desarrollo de DES bifuncionales para separación en una sola etapa (Yang et al., 2023), el uso de electrodeposición para recuperación selectiva de metales (Zou et al., 2025) y la incorporación de herramientas computacionales como DFT y COSMO-RS para optimizar el diseño de solventes (Chen et al., 2025). No obstante, persisten desafíos importantes relacionados con la elevada viscosidad de los DES, su estabilidad química bajo condiciones operativas intensivas, la reutilización del solvente y la limitada validación con residuos reales (Dai et al., 2026; Subiarto et al., 2025). En este sentido, futuras investigaciones deben orientarse hacia estudios de escalamiento industrial, análisis de ciclo de vida y evaluación integral de sostenibilidad que permitan consolidar la viabilidad técnica, económica y ambiental de estos sistemas dentro de esquemas de economía circular.



## Referencias:

- Cao, C., Yuan, Z., Liu, H., Fei, X., & She, Q. (2025). Lactic-acid-based deep eutectic solvent for sustainable recovery of critical metals from spent lithium-ion batteries under mild conditions. *Journal of Cleaner Production*, 505, Article 145460.
- Chen, S., Zhang, Y., Cheng, F., Huang, Y., Cheng, L., Guo, H., Wang, J., Shi, L., & Yi, Q. (2025). Designing principles of deep eutectic solvents for sustainable recycling of spent lithium-ion batteries. *Applied Energy*, 401, Article 126723.
- Dai, X., Li, M., Li, L., Bi, R., & Zhang, L. (2026). Deep eutectic solvents and eutectic molten salts for recycling spent lithium-ion batteries. *Materials Today Energy*, 56, 102205.
- European Commission. (2020). *A new Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe*. European Commission.
- Greitemeier, T., Kampker, A., Tübke, J., & Lux, S. (2025). China's hold on the lithium-ion battery supply chain: Prospects for competitive growth and sovereign control. *Journal of Power Sources Advances*, 32, Article 100173.
- Kityk, A., Pavlik, V., & Hnatko, M. (2024). Reshaping the future of battery waste: Deep eutectic solvents in Li-ion battery recycling. *Journal of Energy Storage*, 97, Article 112990.
- Robledo, S., Valencia, L., Zuluaga, M., Arbelaez Echeverri, O., & Arboleda Valencia, J. W. (2024). *tosr: Create the Tree of Science from WoS and Scopus*. *Journal of Scientometric Research*, 13(2).
- Subiarto, B. G., Clyde, D. A., Yiang, W. J., Yang, J., Khiew, P. S., Chong, W. G., Foo, C. Y., & Huang, N. M. (2025). Facile valorization of hazardous lithium-ion battery waste: Betaine hydrochloride-based deep eutectic solvent as a green platform for heavy metal extraction. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(6), Article 119377.
- Yang, Z., Tang, S., Huo, X., Zhang, M., & Guo, M. (2023). A novel green deep eutectic solvent for one-step selective separation of valuable metals from spent lithium batteries: Bifunctional effect and mechanism. *Environmental Research*, 233, Article 116337.
- Zou, J., Zhang, R., Huang, Y., Wang, X., Chen, L., Sun, X., Wang, M., Zhang, Y., & Wu, K. (2025). High efficiency leaching of black powder from spent lithium-ion battery by ternary deep eutectic solvent and recovery of metals by precipitation and electrodeposition. *Separation and Purification Technology*, 364, Article 132438.



# Analysis of Trends in Synthesis of Magnetite ( $Fe_3O_4$ ) Nanoparticles using deep eutectic solvent and circular economy advances: A Scientometric Review

Gina Yulisa Realpe Cuarán<sup>a\*</sup>, Luz Marina Ocampo Carmona<sup>b</sup>

<sup>a</sup> [grealpec@unal.edu.co](mailto:grealpec@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>b</sup> [lmocampo@unal.edu.co](mailto:lmocampo@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín

## Palabras clave:

Nanopartículas de magnetita, solventes eutécticos profundos (DES), economía circular, tratamiento de aguas.

## Resumen

La nanotecnología es una rama del conocimiento que ha llamado el interés de la comunidad científica, se han desarrollado nanopartículas de varios tipos entre estos materiales se encuentran las nanopartículas metálicas, semiconductoras, poliméricas, de carbono, aleaciones compuestas, etc. (Brito Hurtado et al., 2022). En este momento, la nanotecnología ha tomado un papel importante en aplicaciones ambientales como el tratamiento de aguas (Mbuyazi & Ajibade, 2024), especialmente las nanopartículas magnéticas han sido resaltadas con respecto a otros nanomateriales debido a que ofrecen ventajas adicionales, entre ellas están: capacidad de producirse a gran escala, menor toxicidad y respeto al medio ambiente. Entre las partículas magnéticas a escala nanométrica más comunes están las compuestas de metales como níquel, hierro, cobalto y sus óxidos. De las anteriores, los nanomateriales magnéticos basados en óxido de hierro (Ansari et al., 2023) para la remediación de aguas residuales poseen características considerables para lograr una eficiencia más alta y mejor eliminación contaminantes como colorantes, fármacos, pesticidas, remoción de metales pesados y con carácter antimicrobiano. Por otra parte, la primera vez que se informó de los solventes eutécticos profundos o DES por sus siglas en inglés fue en el trabajo de (Abbott et al., 2002) con el sistema eutéctico cloruro de colina/urea. Debido a que los solventes eutécticos profundos poseen propiedades fisicoquímicas integrales, como el comportamiento de fase, viscosidad, densidad, pH, conductividad iónica, tensión superficial, índice de refracción, formación de enlaces de hidrógeno, estabilidad térmica y química, la facilidad de síntesis, baja presión de vapor y nula o reducida toxicidad. Asimismo, su biodegradabilidad y potencial que presentan como medio de reacción de diseño han tomado relevancia para la investigación (Jambhule et al., 2025).

En este sentido, con el objetivo de analizar la unificación de estos dos campos de investigación, se realizó una revisión sistemática de la literatura en las bases de datos Scopus y Web of Science con las palabras clave de la investigación en título, resumen y palabras clave de artículo definidas como: "síntesis", "magnetita o  $Fe_3O_4$ ", "nanopartículas" y "solvente eutéctico profundo" en idioma inglés. Se obtuvo un total de 220 documentos del tipo artículo científico en el periodo de tiempo entre 2006 y 2026. Los artículos referidos de Scopus se obtuvieron como Bibtex (.bib) y en Web of Science del tipo Plain text (.txt) tras un preprocesamiento y normalización de la información. Por último, el análisis cienciométrico planteado para conocer el árbol de la ciencia de la síntesis de nanopartículas de magnetita con solventes eutécticos profundos y sus respectivos clústeres en *Performance Analysis*, *Science Mapping* y *Network analysis* se obtuvieron mediante los algoritmos de Tree of Science y Bibliometrix del software R, respectivamente, con un consolidado final de 177 artículos del tema investigación.

Como resultado, se encuentra que el árbol de la ciencia está constituido de la siguiente manera: las raíces están asociadas a dos temas de investigación, la primera es la síntesis de nanopartículas de magnetita monodispersas y el segundo tema está relacionado al surgimiento de los solventes eutécticos profundos como solventes verdes y medio de reacción de diseño.





En la estructura del árbol: los temas de mejoramiento de las características fisicoquímicas de las nanopartículas a través de la funcionalización y procesos de síntesis cada vez más rápidos y eficientes para partículas monodispersas en aplicaciones médicas y biológicas, investigado por los clústeres 1 y 2 en China. Con respecto a los solventes eutécticos, se amplía la gama aplicaciones en los campos de extracción, síntesis, separación y catálisis. Aquí, el hito más importante es la migración de las nanopartículas en la medina hacia el tratamiento de aguas con la adsorción de metales pesados entre 2006 y 2008. Ramas del árbol: aproximadamente entre 2010 y 2020, periodo que coincide con el surgimiento de los ODS propuestos para la Agenda 2030. Paralelo a esto, la información analizada se dispersa en: recubrimiento y funcionalización de nanopartículas de magnetita para aplicaciones biomédicas, el uso de los DES como medios de reacción catalíticos y en la síntesis de nano catalizadores con nanopartículas de magnetita por su característica de fácil recuperación, investigado por el clúster 3 en Turquía e Irán. Además, los DES se han usado para funcionalizar y conjugar superficies carbonosas (grafeno y óxido de grafeno) con nanopartículas de magnetita para el campo biomédico, diseño de materiales, aplicaciones ambientales, etc., campo de incursión del clúster 6 en la India. Por último, los solventes eutécticos han sido usados para síntesis verde y añadir funcionalidad o reactividad a las nanopartículas magnéticas de forma conjunta o independiente para la extracción, especialmente la extracción en fase sólida dispersiva (dSPE) investigada por el clúster 5 en China y Reino Unido.

En las hojas del árbol: el área de catálisis incursiona en la catálisis heterogénea por el clúster 7 en India e Iraq y el clúster 8 en Irán, además, esta línea divide en fotocatalisis y electrocatalisis. Por otro lado, en el enfoque dSPE se encuentra la micro extracción y la extracción magnética. Cabe resaltar que la síntesis de nanopartículas por métodos convencionales está migrando a la inclusión de solventes verdes como los DES, como medios de reacción y funcionalización y mejoramiento del desempeño de las nanopartículas, investigado por el clúster 4 en China. Por último, en el clúster 9 se promueve el uso de residuos agrícolas, industriales y mineros con enfoque biotecnológico con el objetivo de mejorar el rendimiento y extender la vida útil de materiales compuestos con potencial aplicación en remoción de contaminantes Finalmente, se encontró que varios autores se han preocupado por los denominados contaminantes emergente, como lo son los fármacos y residuos de productos del cuidado personal. Adicionalmente, con un énfasis más fuerte en la investigación están los colorantes y los metales pesados para desarrollar materiales adecuados y eficientes para el tratamiento de aguas. Se concluye que este tema de investigación es in tema incipiente, por lo que puede avanzar en distintos campos de investigación y a su vez fortalecer y crear nuevas redes de colaboración tanto nacionales como internacionales.

## Referencias:

- Abbott, A. P., Capper, G., Davies, D. L., Rasheed, R. K., & Tambyrajah, V. (2002). Novel solvent properties of choline chloride / urea mixtures. *Chemical Communications*, 1, 70–71. <https://doi.org/DOI>  
<https://doi.org/10.1039/B210714G>
- Ansari, K., Ahmad, R., Tanweer, M., & Azam, I. (2023). Magnetic Iron Oxide Nanoparticles as a Tool for the Advancement of Biomedical and Environmental Application: A Review. *Biomedical Materials & Devices*, 2, 19. <https://doi.org/10.1007/s44174-023-00091-y>
- Brito Hurtado, R., Cortez Valadez, M., & Flores Acosta, M. (2022). Aplicaciones tecnológicas de las nanopartículas en la medicina e industria. *CTS Epistemos*, 46–54. <https://doi.org/https://doi.org/10.36790/epistemos.v16i33.223>
- Jambhule, P. W., Khaty, N. T., Das Sarma, I. B., Tangde, V. M., Joglekar, S., & Wankhede, G. A. (2025). Towards green synthesis of magnetite nanoparticles: a comparative life cycle assessment (LCA) of deep eutectic solvent-based synthesis of magnetite nanoparticles and conventional methods. *Inorganic Chemistry Communications*, 179(P1), 114721. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2025.114721>
- Mbuyazi, T. B., & Ajibade, P. A. (2024). Magnetic iron oxides nanocomposites: synthetic techniques and environmental applications for wastewater treatment. *Discover Nano*, 19(1), 158.



## CATÁLISIS AMBIENTAL Y REMEDIACIÓN DE CONTAMINANTES - CARC



# **Valorización de cáscaras de semilla de girasol para la obtención de un carbón activado con capacidades adsorbentes y carbofotocatalíticas para la remoción y degradación de contaminantes acuosos**

Victor A. Castaño-Rodriguez<sup>a</sup>, Luis R. Pizzio<sup>b</sup>, Julián A. Rengifo-Herrera<sup>c\*</sup>

<sup>a</sup> [Victorcastano@quimica.unlp.edu.ar](mailto:Victorcastano@quimica.unlp.edu.ar), LAPH CINDECA, CONICET-UNLP-CICPBA, La Plata, Argentina

<sup>b</sup> [Lrpizzio@quimica.unlp.edu.ar](mailto:Lrpizzio@quimica.unlp.edu.ar), LAPH CINDECA, CONICET-UNLP-CICPBA, La Plata, Argentina

<sup>c</sup> [Julianregifo@quimica.unlp.edu.ar](mailto:Julianregifo@quimica.unlp.edu.ar), LAPH CINDECA, CONICET-UNLP-CICPBA, La Plata, Argentina

**Palabras clave:** Valorización de residuos, carbón activado, carbofotocatálisis, detoxificación de aguas.

## **Resumen**

La República Argentina es el tercer productor mundial de semillas de girasol, con cerca de 3.9 millones de toneladas métricas anuales. De esa cantidad, alrededor del 30% corresponde a cáscaras, un residuo lignocelulósico clasificado como biomasa de segunda generación. Una estrategia para reducir la disposición de este residuo, es incorporarlo en esquemas de economía circular y agregarle valor mediante su conversión a carbones activados (CAs). Estos materiales poseen elevada superficie específica y diversidad de grupos funcionales superficiales, lo que les confiere la capacidad de adsorber compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en fase líquida o gaseosa, transfiriéndolos a una matriz sólida (Alvear-Daza et al., 2025).

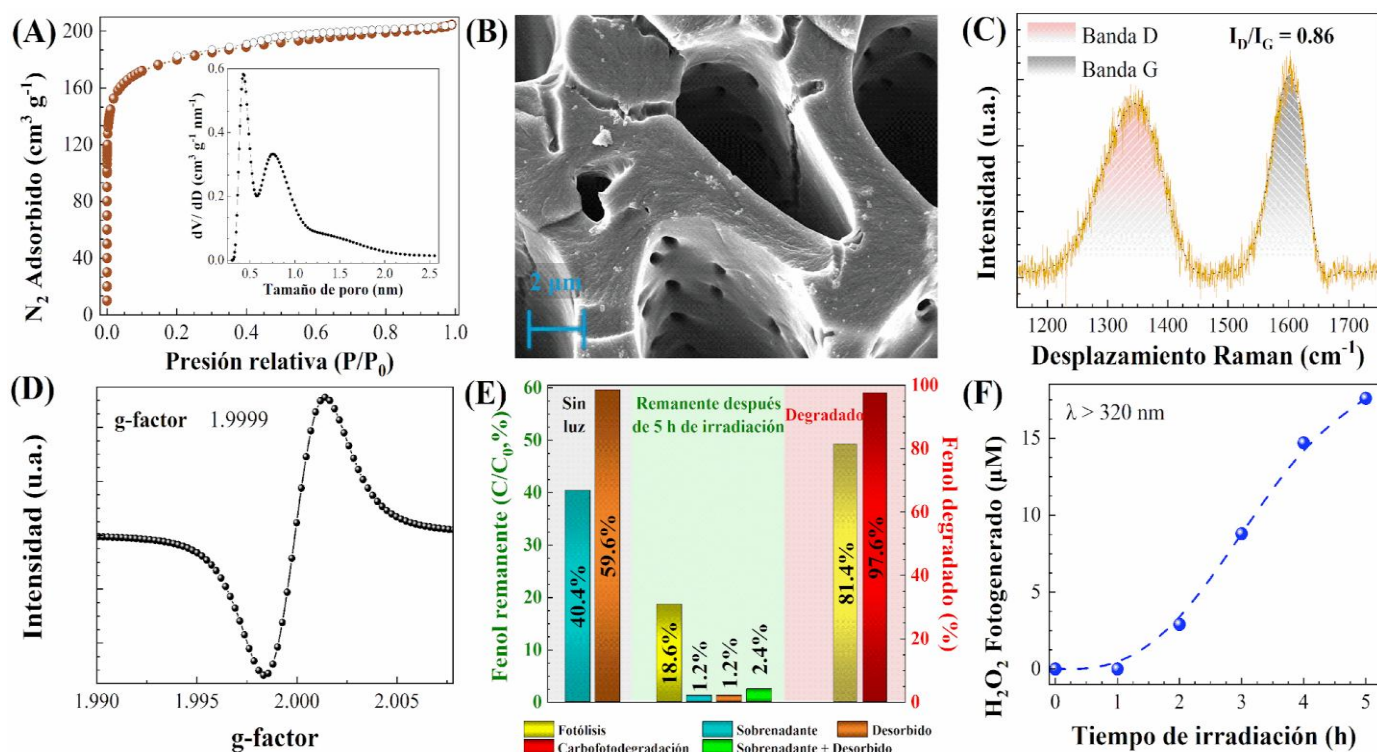
Este trabajo se centra en investigar las propiedades carbofotocatalíticas de los CAs, asociadas a su comportamiento como semiconductor derivado de dominios  $sp^2$  y  $sp^3$ , que les permiten absorber radiación y generar pares electrón–hueco capaces de producir especies reactivas de oxígeno (ROS) como el radical hidroxilo ( $\cdot OH$ ), el radical anión superóxido ( $O_2^{\cdot -}$ ) y el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ). Además, la presencia de radicales libres persistentes (PFRs) en su red carbonosa y generados durante la pirólisis de la biomasa pueden transformar el  $H_2O_2$  en  $\cdot OH$ , lo que les confiere potencial para su aplicación en procesos de degradación de contaminantes adsorbidos o en fase acuosa sin el agregado de oxidantes externos (Alvear-Daza et al., 2025).

El CA fue obtenido mediante activación química de cáscaras de semilla de girasol con  $H_3PO_4$  (en una relación 1:1 en peso) y posterior pirólisis a 544 °C en atmósfera de  $N_2$  (Alvear-Daza et al., 2025). El material obtenido fue caracterizado mediante un enfoque multitécnica que incluyó microscopía electrónica de barrido por emisión de campo (FE-SEM), isotermas de adsorción–desorción de  $N_2$ , espectroscopía Raman (FT-Raman) y espectroscopía de resonancia de espín electrónica (ESR). Posteriormente, se evaluó la capacidad del material para adsorber y degradar carbofotocatalíticamente fenol, así como su actividad en la fotogeneración de ROS, particularmente  $H_2O_2$ .

La isoterma de adsorción–desorción de  $N_2$ , mostró un comportamiento tipo I(b) con un área superficial de 694  $m^2 g^{-1}$  evidenciando una estructura microporosa consistente con la morfología observada por las micrográficas FE-SEM. La caracterización FT-Raman indicó una relación  $I_D/I_G$  de 0.86, asociada a dominios gráficos parcialmente desordenados, mientras que el espectro ESR a -196 °C presentó una señal con  $g \approx 1.999$  atribuida a PFRs centrados en carbono (Alvear-Daza et al., 2025).



En oscuridad, el 59.6% del fenol inicial fue adsorbido sobre el CA. Tras 5 h de irradiación, la fotólisis (en ausencia de CA) dejó un remanente de fenol de 18.6%, mientras que en presencia del CA solo permaneció el 1.2% del fenol en solución. Similarmente, el fenol desorbido del CA se redujo a 1.2% indicando que también la fracción adsorbida fue carbofotocatalíticamente degradada. En conjunto, estos resultados indican una carbofotodegradación global de 97.6%, superior al 81.4% obtenido por fotólisis. Adicionalmente, la cuantificación del  $H_2O_2$  bajo irradiación en presencia de isopropanol como donador sacrificial de electrones evidenció la formación de 17.6  $\mu M$  tras 5 h. La degradación del fenol se atribuye a radicales  $\cdot OH$  generados por la descomposición de  $H_2O_2$  en los PFR del CA.



**Figura 1.** (A) isoterma de adsorción-desorción de  $N_2$ ; (B) microscopía electrónica de barrido por emisión de campo (FE-SEM); (C) espectro Raman; (D) espectro de resonancia de espín electrónico (ESR); (E) adsorción y fotodegradación de fenol; (F) producción de  $H_2O_2$  bajo irradiación.

## Referencias:

Alvear-Daza, J. J., Melin, V., Irvicelli, K. G., Murillo-Sierra, J. C., Cánneva, A., Donadelli, J. A., Campos, C. H., Torres, C. C., Contreras, D., Celzard, A., Fierro, V., Pizzio, L. R., & Rengifo-Herrera, J. A. (2025). Metal-free photocatalyst based on highly porous activated carbon obtained from agro-industrial residues: Characterization and photocatalytic evaluation. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 462, 116247. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2024.116247>





## Efecto del ácido cítrico en la lixiviación y estabilidad de catalizadores de cobre en la oxidación catalítica de fenol con $H_2O_2$

Nicolás Sacco<sup>a</sup>, Victoria Salinas<sup>b</sup>, Constanza Pierantoni<sup>b</sup>, Fernanda Miranda Zoppas<sup>a</sup>, Emerson Burna<sup>a</sup>, Fernanda Albana Marchesini<sup>a\*</sup>.

<sup>a</sup> nsacco@fiq.unl.edu.ar, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE), Universidad Nacional del Litoral (UNL)-CONICET, Santa Fe, Argentina

<sup>b</sup> Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.

**Palabras clave:** CWPO, catalizadores Cu–La, estabilidad catalítica, lixiviación de cobre

### Resumen

**Introducción.** La presencia de compuestos fenólicos en efluentes acuosos representa un problema ambiental relevante debido a su estabilidad química y resistencia a tratamientos convencionales. En este contexto, la oxidación catalítica húmeda con peróxido de hidrógeno (CWPO) se ha consolidado como una alternativa eficaz para la degradación de contaminantes refractarios mediante la generación de especies reactivas de oxígeno.

Los catalizadores Cu/ $\gamma$ - $Al_2O_3$  son ampliamente utilizados por la accesibilidad del par redox  $Cu^{2+}/Cu^+$ ; sin embargo, su desempeño se ve limitado por la lixiviación de cobre, lo que compromete la estabilidad del sistema y dificulta distinguir entre contribuciones heterogéneas y homogéneas. En consecuencia, el control de la interacción metal–soporte y del entorno químico de las especies activas resulta determinante.

En este trabajo se analiza el efecto de la química de síntesis, particularmente el uso de ácido cítrico como agente complejante y la incorporación de lantano, sobre la estabilización, el estado redox y la lixiviación de cobre en catalizadores Cu/ $Al_2O_3$  [1,2]. El objetivo es establecer relaciones entre las condiciones de preparación y el desempeño catalítico en CWPO, con énfasis en la estabilidad y la naturaleza del proceso.

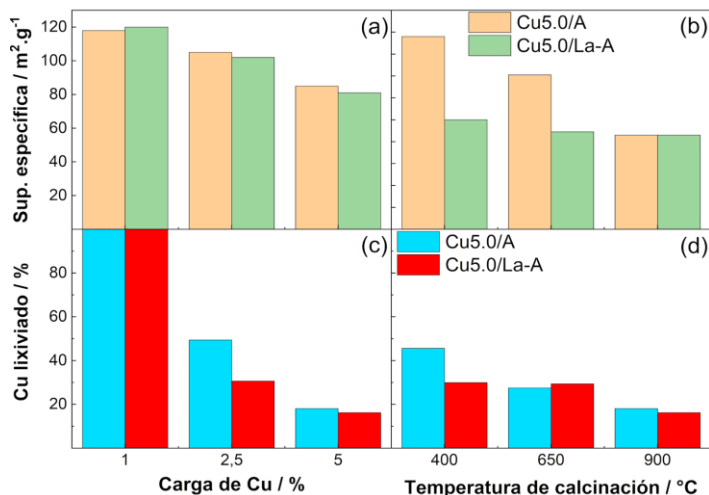
**Metodología.** Se prepararon catalizadores de Cu/A, CuLa/A y Cu/La-A por impregnación húmeda sobre  $\gamma$ - $Al_2O_3$ , empleando nitratos metálicos como precursores. En los materiales Cu/A se evaluaron cargas de Cu entre 1 y 5 % p/p. En los sistemas con lantano se estudiaron dos rutas de síntesis: co-impregnación de Cu y La (CuLa/A) e impregnación secuencial con depósito previo de La y posterior incorporación de Cu (Cu/La-A). El ácido cítrico se utilizó como agente complejante en relación molar 1:1 respecto a los precursores metálicos, comparándose con materiales preparados en agua [2]. Los sólidos se secaron a 110 °C y se calcinaron a 400, 650 y 900 °C.

La caracterización se realizó mediante difracción de rayos X (DRX), adsorción de nitrógeno, microscopía electrónica de barrido (SEM) con análisis elemental (EDS) y espectroscopía de fotoelectrones de rayos X (XPS).

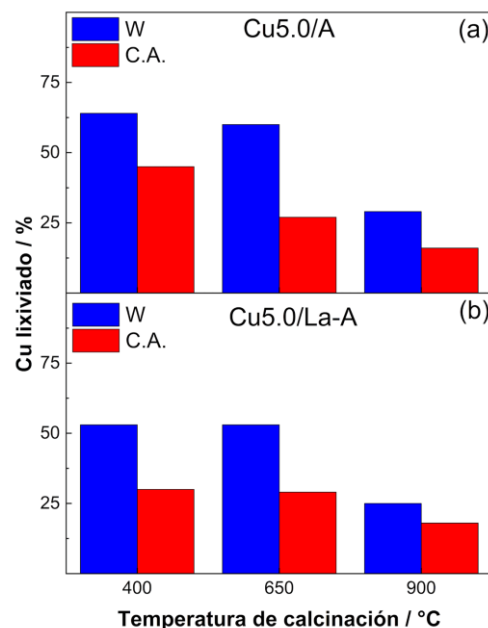
La actividad catalítica se evaluó en la oxidación de fenol con peróxido de hidrógeno a 60 °C, determinándose conversión, carbono orgánico total y lixiviación de cobre.

**Resultados principales.** El aumento de la temperatura de calcinación modifica la naturaleza de las especies de cobre. En Cu/A, a 650–900 °C se forman fases mixtas Cu–Al, asociadas a una mayor interacción metal–soporte [3]. Aunque el área superficial disminuye ( $176 \rightarrow 86 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ), la actividad se mantiene, lo que indica que el desempeño no está controlado por propiedades texturales.





**Figura 1.** Propiedades texturales y estabilidad de los catalizadores Cu5.0/A y Cu5.0/La-A. (a–b) Área superficial específica en función de la carga de Cu y de la temperatura de calcinación. (c–d) Lixiviación de cobre en función de la carga de Cu y de la temperatura.



**Figura 2.** Efecto de la temperatura de calcinación y del uso de ácido cítrico en la lixiviación de cobre para los catalizadores Cu5.0/A (a) y Cu5.0/La-A (b).

En estas condiciones, la lixiviación de cobre emerge como el parámetro que controla el comportamiento del sistema. A baja carga de Cu o baja temperatura de calcinación, se observan pérdidas elevadas (>50–85%), lo que implica una contribución homogénea significativa. En cambio, cuando el cobre está más estabilizado (mayor temperatura o carga), la lixiviación disminuye a ~15–30%, acercando el sistema a un comportamiento predominantemente heterogéneo.

El ácido cítrico no modifica la conversión, pero reduce la lixiviación de forma sistemática (por ejemplo, de ~50–60% a <30% a 650 °C), evidenciando su papel en la estabilización del cobre durante la síntesis. Los datos correspondientes a catalizadores preparados en agua (sin ácido cítrico) fueron previamente reportados en la literatura [2]. La incorporación de lantano refuerza este efecto: los catalizadores CuLa/A presentan menor lixiviación que los Cu/La-A, lo que indica una interacción más efectiva en sistemas co-impregnados.

## Referencias

- [1] Zhang, W., Zhuang, H., Guo, Y., Chi, H., Ding, Q., Wang, L., Xi, Y., & Lin, X. (2024). Environmental Science and Pollution Research, 31, 26916–26927. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32781-5>
- [2] Sacco, N. A., Lovato, M. E., Marchesini, F. A., & Devard, A. V. (2022). Journal of Hazardous Materials Letters, 3, 100059. <https://doi.org/10.1016/j.hazl.2022.100059>.
- [3] Ausavasukhi, A., Krukrathok, N., & Singthaisong, P. (2023). Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 117, 371–385. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2022.10.025>.



# Nanocatalizadores híbridos quitosano–hidroxiapatita con nanopartículas de plata para la reducción eficiente de contaminantes orgánicos en agua

Sofía Huggias<sup>a</sup>, Soledad Belluzo<sup>b</sup>, Mónica Casella<sup>c\*</sup>

<sup>a</sup> shuggias@quimica.unlp.edu.ar, Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas “Dr. Jorge J. Ronco”, La Plata

<sup>b</sup> solebelluzo@inifta.unlp.edu.ar, Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas, La Plata

<sup>c</sup> casella@quimica.unlp.edu.ar, Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas “Dr. Jorge J. Ronco”, La Plata

**Palabras clave:** Nanocatalizadores híbridos, Nanopartículas de plata, Reducción, Contaminantes orgánicos

## Resumen

La presencia de colorantes orgánicos y compuestos nitroaromáticos en efluentes industriales representa un problema ambiental relevante debido a su elevada estabilidad química, persistencia en medios acuosos y potencial toxicidad para los ecosistemas. Entre las estrategias desarrolladas para su eliminación, la reducción catalítica mediada por nanopartículas metálicas ha demostrado ser un método eficiente, particularmente cuando se emplean sistemas heterogéneos capaces de facilitar la transferencia electrónica entre el agente reductor y las moléculas orgánicas adsorbidas sobre la superficie catalítica (Pradhan et al., 2002). En este trabajo se desarrollaron nanocatalizadores híbridos basados en quitosano (CH) e hidroxiapatita nanométrica (nHA) y micrométrica (mHA) estabilizando nanopartículas de plata (AgNPs), destinados a la reducción catalítica de contaminantes orgánicos en solución acuosa. En el marco de la valorización de residuos, cabe destacar que el quitosano puede obtenerse a partir de desechos de la industria pesquera, mientras que la hidroxiapatita empleada en este trabajo fue sintetizada a partir de residuos ganaderos óseos, de origen bovino. Este enfoque contribuye al aprovechamiento de subproductos industriales y a la generación de materiales con valor agregado para aplicaciones ambientales. Los materiales fueron preparados mediante una estrategia de síntesis tipo *chitosan-first*, en la cual las nanopartículas de plata se generan in situ dentro de la matriz polimérica de quitosano antes de la incorporación de la fase inorgánica. Este enfoque favorece la nucleación y estabilización de las nanopartículas metálicas en el entorno funcional del biopolímero, promoviendo una dispersión homogénea y evitando procesos de agregación.

Los materiales obtenidos fueron caracterizados mediante diversas técnicas fisicoquímicas. Los espectros FTIR confirmaron la coexistencia de las bandas características del quitosano y de la hidroxiapatita, evidenciando la formación del material híbrido. La formación de nanopartículas de plata fue corroborada mediante espectroscopía UV-visible, donde se observó la banda de resonancia plasmónica superficial característica de AgNPs en la región visible. La microscopía electrónica de transmisión (TEM) reveló la presencia de nanopartículas metálicas esféricas bien dispersas dentro de la matriz polimérica. Asimismo, el contenido de plata en los catalizadores fue determinado mediante espectrometría de absorción atómica. La actividad catalítica de los materiales fue evaluada en la reducción de tres contaminantes orgánicos modelo ampliamente utilizados en estudios de remediación ambiental *p*-nitrofenol (*p*-NP), rodamina 6G (R6G) y rojo de metilo (MR). Las reacciones se realizaron en medio acuoso utilizando borohidruro de sodio (NaBH<sub>4</sub>) como agente reductor, monitoreando la evolución de las reacciones mediante espectroscopía UV-visible. Experimentos de control realizados en ausencia de catalizador mostraron que la reducción de estos compuestos es extremadamente lenta, evidenciando la necesidad de un catalizador capaz de mediar la transferencia electrónica entre el donador de electrones y las moléculas orgánicas (Wunder et al., 2010). La incorporación de los catalizadores produjo una aceleración significativa de las reacciones de reducción. En todos los casos se observó una rápida disminución de las bandas de absorción características de los



contaminantes, alcanzándose conversiones prácticamente completas en pocos minutos. Los resultados muestran que los nanocatalizadores CH(Ag)/nHA presentaron el mejor desempeño catalítico frente a los tres contaminantes evaluados, exhibiendo constantes cinéticas aparentes de  $0,0566 \text{ s}^{-1}$  para la reducción de *p*-nitrofenol,  $0,045 \text{ s}^{-1}$  para rodamina 6G y  $0,039 \text{ s}^{-1}$  para rojo de metilo. El análisis espectroscópico de la evolución de las reacciones mostró además diferencias mecanísticas entre los contaminantes evaluados. En las reducciones de rodamina 6G y *p*-nitrofenol se observaron puntos isobésticos, lo que indica una interconversión directa entre dos especies principales. En contraste, la reducción de rojo de metilo presentó una evolución espectral más compleja, consistente con el mecanismo de escisión reductiva del enlace azo ( $-\text{N}=\text{N}-$ ) que genera dos aminas aromáticas como productos finales (Sahin & Gubbuk, 2022). Adicionalmente, los catalizadores mostraron una excelente estabilidad durante ensayos de reutilización, manteniendo una alta actividad catalítica durante diez ciclos consecutivos de reacción. La elevada actividad catalítica observada puede atribuirse a la sinergia estructural entre los componentes del material híbrido. El quitosano proporciona grupos funcionales capaces de estabilizar las AgNPs y favorecer la adsorción de especies presentes en el medio de reacción, mientras que la hidroxiapatita contribuye a la estabilidad estructural y robustez del sistema lo que evita la agregación de las AgNPs.

En conjunto, los resultados demuestran que los nanocatalizadores híbridos quitosano-hidroxiapatita estabilizando AgNPs constituyen sistemas altamente eficientes para la reducción catalítica de contaminantes orgánicos en medios acuosos. La combinación de alta actividad catalítica, estabilidad, reutilización y una estrategia de síntesis simple basada en materiales biocompatibles posiciona a estos sistemas como candidatos prometedores para aplicaciones en remediación ambiental y tratamiento de aguas contaminadas.

## Referencias:

Pradhan, S., Pal, A., & Pal, T. (2002). Catalytic reduction of aromatic nitro compounds by coinage metal nanoparticles. *Langmuir*, 18, 10473–10478. <https://doi.org/10.1021/la000862d>

Wunder, S., Polzer, F., Lu, Y., Mei, Y., & Ballauff, M. (2010). Kinetic analysis of catalytic reduction of 4-nitrophenol by metallic nanoparticles immobilized in spherical polyelectrolyte brushes. *The Journal of Physical Chemistry C*, 114, 8814–8820. <https://doi.org/10.1021/jp101125j>

Sahin, M., & Gubbuk, I. H. (2022). Green synthesis of palladium nanoparticles and investigation of their catalytic activity for methylene blue, methyl orange and rhodamine B degradation by sodium borohydride. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 135(2), 999–1010. <https://doi.org/10.1007/s11144-022-02185-y>





## Influencia de la carga de catalizador en la degradación fotocatalítica de 2-clorofenol empleando óxidos mesoporosos de Fe y Fe/Co

Emiliano G. Fornasin<sup>a\*</sup>, Natalia I. Cuello<sup>a</sup>, Pablo A. Ochoa Rodríguez<sup>a</sup>, Griselda A. Eimer<sup>a</sup>, Verónica R. Elías<sup>a</sup>.

- Centro de Investigación y Tecnología Química (CITeQ-UTN-CONICET), Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional, Maestro López esq. Cruz Roja s/n, 5000, Córdoba Capital, Argentina.  
[\\*efornasin@frc.utn.edu.ar](mailto:efornasin@frc.utn.edu.ar)

**Palabras clave:** ÓXIDOS MESOPOROSOS DE Fe, FOTOCATÁLISIS, CLOROFENOL

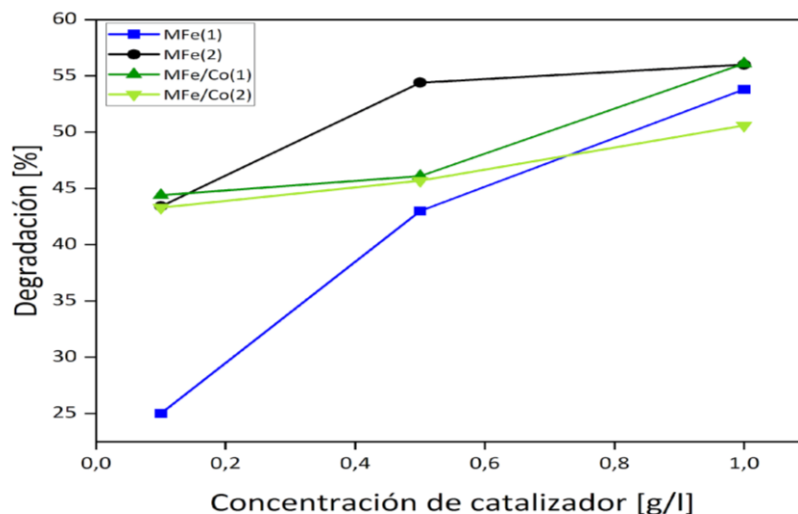
### Resumen

La expansión industrial genera efluentes con contaminantes recalcitrantes tales como fármacos, cosméticos y plastificantes, los cuales requieren tecnologías eficientes para mitigar su impacto ambiental. En este contexto, existe un marcado interés en el desarrollo de catalizadores mesoporosos activables bajo radiación UV<sub>A</sub>-Vis y con propiedades magnéticas que faciliten su recuperación (Dou et al., 2020; Farmany et al., 2016; Roto et al., 2016). En el presente trabajo se sintetizaron y evaluaron catalíticamente óxidos mesoporosos de Fe y sus cuplas con Co mediante el método de moldeado duro (hard-templating) que consiste en la utilización de la matriz de sílice SBA-15 como molde para generar la estructura mesoporosa. Al eliminar selectivamente la matriz, se obtuvo un sólido nanoestructurado. Los materiales sintetizados se nombraron como sigue: MFe(1), MFe(2), MFe/Co(1), MFe/Co(2) donde 1 indica el uso de Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·9 H<sub>2</sub>O y 2 el de Fe(C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>O<sub>2</sub>)<sub>3</sub> como precursores de hierro, mientras que la fuente de cobalto fue Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6 H<sub>2</sub>O. La actividad catalítica se evaluó en la degradación de 2-clorofenol en agua (20 ppm) a pH~6 empleando un reactor equipado con cuatro lámparas LED de 10 W con emisión de luz en el espectro visible. El proceso fotocatalítico tuvo una duración total de 3 horas con previo contacto de 45 min del catalizador con el medio a oscuras, y con toma periódica de muestras para seguimiento mediante HPLC. El estudio se centró en evaluar la influencia de la concentración de catalizador en el medio de reacción, variando la misma entre los siguientes valores: 0,1; 0,5 y 1 g/L.

En la Figura 1 y Tabla 1 se presentan los resultados de caracterización y de evaluación catalítica de los sólidos. De los resultados puede observarse que el material MFe(1) tiene una mayor dependencia de su actividad catalítica respecto de la concentración de catalizador, ya que la curva presenta una pendiente creciente. En tanto que, para los otros materiales, la actividad se mantiene relativamente constante para todas las concentraciones evaluadas.

De los resultados puede inferirse entonces que la actividad del material MFe(1), podría tener una fuerte dependencia con su área superficial específica, y por esta razón, a mayor concentración de catalizador más sitios disponibles para la reacción. En cambio, el desempeño catalítico de los otros sólidos estaría mayormente gobernado por las fases cristalinas formadas las cuales, debido a que son sólidos con menores áreas superficiales, no mejoran notablemente su disponibilidad como sitios activos al incrementar su concentración en el medio.





**Figura 1.** Porcentaje de degradación del 2-clorofenol vs concentración del catalizador

**Tabla 1.** Resultados del análisis textural y catalítico de los catalizadores

| Catalizador | Área BET [m <sup>2</sup> /g] | [% deg] |         |       |
|-------------|------------------------------|---------|---------|-------|
|             |                              | 0,1 g/l | 0,5 g/l | 1 g/l |
| MFe(1)      | 236,8                        | 25,1    | 43,1    | 53,8  |
| MFe(2)      | 80,2                         | 43,4    | 54,4    | 56    |
| MFe/Co(1)   | 109,1                        | 44,4    | 45,6    | 56,1  |
| MFe/Co(2)   | 120,3                        | 43,3    | 46,9    | 50,6  |

## Referencias

- Dou, R., Cheng, H., Ma, J., & Komarneni, S. (2020). Manganese doped magnetic cobalt ferrite nanoparticles for dye degradation via a novel heterogeneous chemical catalysis. *Materials Chemistry and Physics*, 240. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122181>
- Farmany, A., Mortazavi, S. S., & Mahdavi, H. (2016). Ultrasound-assisted synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> core/shell with enhanced adsorption capacity for diazinon removal. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 416, 75-80. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2016.04.007>
- Roto, R., Yusran, Y., & Kuncaka, A. (2016). Magnetic adsorbent of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> @SiO<sub>2</sub> core-shell nanoparticles modified with thiol group for chlorauric ion adsorption. *Applied Surface Science*, 377, 30-36. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.03.099>



## Desempeño de Ag/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> en la reducción de nitrofenoles en fase acuosa

Bettina M. Sosa<sup>a,b\*</sup>, Cristián A. Ferretti<sup>a</sup>, Santiago E. Vaillard<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Laboratorio Fester, Química Orgánica, Instituto de Química Aplicada del Litoral - IQAL- (UNL-CONICET). Santiago del Estero 2829, (3000) Santa Fe, Argentina

<sup>b</sup> Grupo de Química Orgánica Aplicada (GCOA), Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química – INTEC - (UNL- CONICET), Predio CCT CONICET “Dr. Alberto Cassano”, Colectora RN 168, Km 0, Paraje El Pozo, (3000) Santa Fe, Argentina

\* Email: bmsosa@fiq.unl.edu.ar

**Palabras clave:** nitrofenol, reducción catalítica, carbonitruros

### Resumen

Los nitrofenoles son contaminantes persistentes cuya eliminación es fundamental; una estrategia eficaz es su reducción a aminofenoles mediante catálisis heterogénea con NaBH<sub>4</sub> [1]. En este contexto, los catalizadores de plata soportados sobre carbonitruros (Ag/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) han mostrado alto potencial, aunque su desempeño en condiciones térmicas ha sido poco explorado. Con el objetivo de evaluar este sistema, el g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> se sintetizó por tratamiento térmico de melamina y se modificó por impregnación con AgNO<sub>3</sub> seguida de calcinación a 550 °C, obteniéndose catalizadores con 1, 2.5, 5 y 10 % en peso de Ag, cuyos contenidos reales (1.1; 2.3; 5.5 y 11.2 %) coincidieron con los nominales. La incorporación de Ag produjo un aumento significativo del área superficial, pasando de 12 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup> para el g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> a 54, 65 y 69 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup> para 1, 2.5 y 5 % de Ag, respectivamente, con una leve disminución a 50 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup> para 10 %. Asimismo, el volumen de poro se incrementó de 0,035 a 0,094–0,138 cm<sup>3</sup>.g<sup>-1</sup>, mientras que el tamaño de poro disminuyó de 119 a 78–96 Å, cambios atribuidos a procesos de oxidación-exfoliación del soporte durante la calcinación en presencia de especies de Ag.

La actividad catalítica se evaluó en la reducción de isómeros de nitrofenol mediante UV-Vis en presencia de exceso de NaBH<sub>4</sub>, siguiendo una cinética de *pseudo*-primer orden, determinándose las constantes de velocidad aparentes (k<sub>a</sub>) y las constantes normalizadas respecto a la masa de catalizador (k<sub>n</sub>). Se observó la formación de nitrofenolatos y su posterior reducción a aminas, evidenciada por la disminución de las bandas características (415, 390 y 400 nm para *o*-, *m*- y *p*-nitrofenol, respectivamente). Los resultados mostraron que la actividad catalítica aumenta con el contenido de Ag, siendo el catalizador 5Ag/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> el más eficiente (Tabla 1), alcanzando además valores superiores a los reportados en la bibliografía. Por otro lado, el orden de reactividad fue *p*- > *o*- > *m*-nitrofenol, atribuido a efectos estéricos y electrónicos: menor impedimento en *p*-nitrofenol, estabilización por puente de hidrógeno en *o*-nitrofenol y diferencias de acidez entre los isómeros [2].

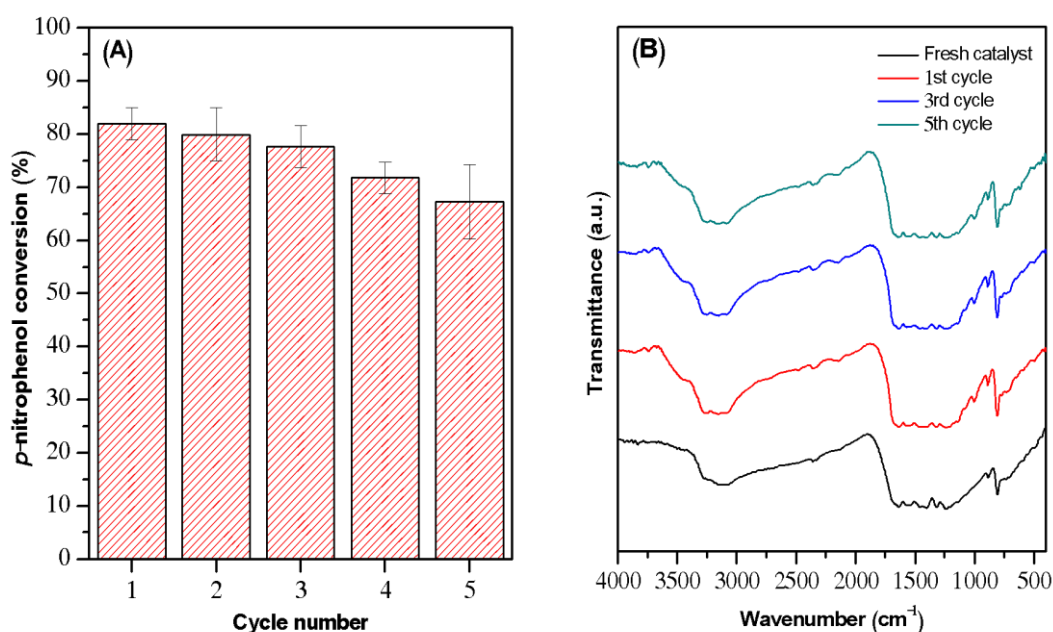
**Tabla 1.** Parámetros cinéticos obtenidos para cada isómero a 25°C.

| Catalizador                           | Parámetros                                           | Isómero              |                      |                      |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                                       |                                                      | <i>o</i> -nitrofenol | <i>m</i> -nitrofenol | <i>p</i> -nitrofenol |
| 1Ag/g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub>   | k <sub>a</sub> (min <sup>-1</sup> )                  | 0.096                | 0.060                | 0.168                |
|                                       | R <sup>2</sup>                                       | 0.97                 | 0.98                 | 0.96                 |
|                                       | k <sub>n</sub> (min <sup>-1</sup> .g <sup>-1</sup> ) | 96                   | 60                   | 168                  |
| 2.5Ag/g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | k <sub>a</sub> (min <sup>-1</sup> )                  | 0.188                | 0.081                | 0.297                |
|                                       | R <sup>2</sup>                                       | 0.96                 | 0.97                 | 0.98                 |
|                                       | k <sub>n</sub> (min <sup>-1</sup> .g <sup>-1</sup> ) | 188                  | 81                   | 297                  |
| 5Ag/g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub>   | k <sub>a</sub> (min <sup>-1</sup> )                  | 0.266                | 0.135                | 0.349                |



|                                      |                                                     |       |       |       |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                                      | R <sup>2</sup>                                      | 0.96  | 0.99  | 0.97  |
|                                      | k <sub>n</sub> (min <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> ) | 266   | 135   | 349   |
|                                      | k <sub>a</sub> (min <sup>-1</sup> )                 | 0.277 | 0.147 | 0.371 |
| 10Ag/g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | R <sup>2</sup>                                      | 0.96  | 0.99  | 0.98  |
|                                      | k <sub>n</sub> (min <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> ) | 277   | 147   | 371   |

Los parámetros cinéticos confirmaron un incremento en la constante de velocidad proporcional a la carga metálica, aunque no se observaron mejoras significativas al superar el 5% de Ag. Por consiguiente, el catalizador 5Ag/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> fue identificado como el catalizador más eficiente en las condiciones estudiadas. Este presentó una notable estabilidad en la reducción de *p*-nitrofenol, manteniendo su actividad hasta el tercer ciclo de reacción. La leve disminución del rendimiento en ciclos posteriores se atribuyó a la pérdida de masa durante el proceso de filtración (Figura 1A). Asimismo, el análisis por espectroscopía FTIR confirmó que no se producen cambios estructurales tras la reutilización (Figura 1B).



**Figura 1.** (A) Reutilización de 5Ag/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> en la reducción de p-nitrofenol (conversión a 7 min). (B) Espectros FTIR tras cada ciclo.

## Referencias

- [1] Xiong, Z., Zhang, H., Zhang, W., Lai, B., & Yao, G. (2018). Removal of nitrophenols and their derivatives by chemical redox: A review. *Chemical Engineering Journal*, 359, 13–31. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.11.11>
- [2] Aazza, M., Ahlafi, H., Moussout, H., Mounir, C., Fadel, A., & Addad, A. (2020). Catalytic reduction of nitro-phenolic compounds over Ag, Ni and Co nanoparticles catalysts supported on  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ . *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(2), 103707. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103707>





## Catalizadores de NiO sobre soportes mixtos para la valorización de etano mediante deshidrogenación oxidativa.

Esmeralda Lopez Bottai, Paula Brussino, Juan Pablo Bortolozzi \*

\*[jbortolozzi@fiq.unl.edu.ar](mailto:jbortolozzi@fiq.unl.edu.ar), INCAPE (UNL-CONICET), Santa Fe.

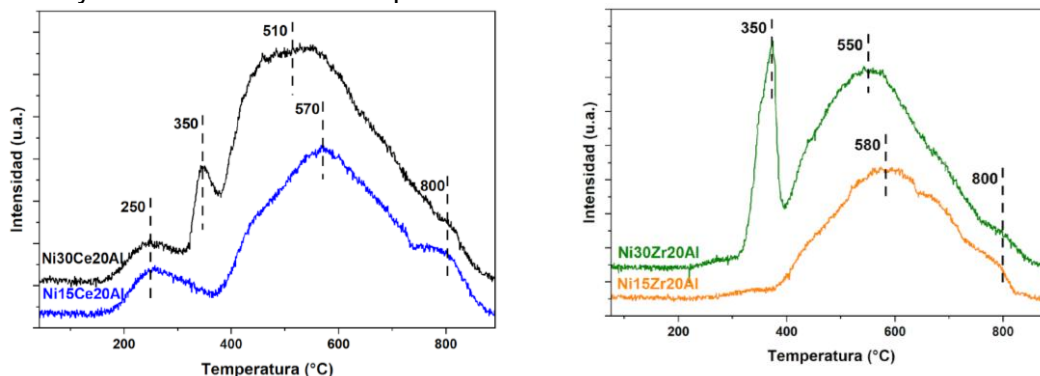
**Palabras clave:** DOE, NiO soportado, alúminas dopadas

### Resumen

La deshidrogenación oxidativa de etano (DOE) constituye una ruta catalítica alternativa y amigable con el ambiente para la obtención de etileno si se compara con el proceso de producción actual, craqueo térmico de hidrocarburos con vapor. Este requiere temperaturas altas y presenta un consumo energético elevado y emisiones de dióxido de carbono importantes. En este trabajo se reporta el desarrollo de catalizadores basados en NiO soportado en alúminas dopadas y su aplicación en la reacción DOE. El objetivo principal es la obtención de una mejora en el desempeño con respecto a NiO soportado en alúmina, que en diferentes estudios mostró ser una formulación activa [1].

Los catalizadores se prepararon mediante impregnación húmeda. Se utilizó nitrato como precursor de níquel y soportes comerciales de alúmina dopada con circonia (20 %) y ceria (20 %) denominados Zr20Al y Ce20Al, previamente calcinados en aire durante 4 h a 450 °C. El soporte se incorporó al precursor de níquel disuelto en agua destilada bajo calentamiento a 80 °C y agitación magnética. La solución acuosa se dejó evaporar hasta la formación de una pasta que se secó a 120 °C durante la noche. El sólido obtenido se molió y se calcinó en flujo de aire a 500 °C por 2 h. Finalmente, el polvo se tamizó con un tamiz 100 Mesh. Se obtuvieron así los catalizadores que se nombraron de la siguiente manera: Ni15Y20Al y Ni30Y20Al, donde 15 y 30 hacen referencia al %p/p de Ni, Y indica el dopante y 20 su porcentaje en el soporte.

La reacción DOE involucra un mecanismo redox, por lo que se estudió la reducibilidad de las formulaciones preparadas. El análisis de Reducción a Temperatura Programada (TPR) demostró la presencia de especies con distinta interacción con el soporte (**Figura 1**). Todos los catalizadores mostraron mayoría de especies  $\text{Ni}^{2+}$  que interaccionan fuertemente con el soporte (400-900 °C). A mayores temperaturas, entre 720 y 850 °C, se identificaron también especies tipo aluminato, que se reportan como más selectivas a etileno y presentan aún mayor interacción con el soporte.



**Figura 1.** Perfiles  $\text{H}_2$ -TPR de los catalizadores Ni15Y20Al y Ni30Y20Al



Esto coincide con lo observado por UV-Vis, donde se identificaron dos tipos de Ni con coordinación octaédrica y tetraédrica respectivamente (**Tabla 1**), siendo las últimas más difíciles de reducir. Por otro lado, tanto Ni<sub>30</sub>Zr<sub>20</sub>Al como Ni<sub>30</sub>Ce<sub>20</sub>Al presentaron especies que se reducen a menor temperatura, con un máximo en 350 °C y cuya interacción puede considerarse más débil.

Esta observación puede relacionarse con los tamaños de cristalitas obtenidos a partir de difractogramas de rayos X (DRX) informados en la **Tabla 1**. Para el catalizador soportado en Zr<sub>20</sub>Al, cuyo pico es más intenso en el perfil de TPR, se observa el mayor tamaño de cristalita de la fase NiO (plano 2 0 0), seguido por el catalizador soportado en Ce<sub>20</sub>Al. En particular, las dos formulaciones con el soporte Ce<sub>20</sub>Al presentaron especies reducibles a menores temperaturas (200-300 °C), relacionadas a especies más lábiles y a vacancias de oxígeno generadas para mantener la neutralidad de carga cuando cationes de Ni<sup>2+</sup> se insertan en la red de ceria. Se encuentra ampliamente reportada la formación de la solución sólida Ni-Ce [2].

**Tabla 1.** Resultados de distintas caracterizaciones de los catalizadores y desempeño catalítico.

| Catalizador                          | S <sub>BET</sub><br>(m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ) | d <sub>NiO</sub><br>(nm)<br><sub>1</sub> | Fases<br>cristalinas <sup>2</sup> | Máximo<br>Raman<br>(cm <sup>-1</sup> ) | UV-Vis (cm <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup> |              | Desempeño catalítico<br><sub>4</sub>           |                                             |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|--------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|                                      |                                                       |                                          |                                   |                                        | Ni (Oh)                                 | Ni (Td)      | X <sub>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></sub><br>(%) | S <sub>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></sub> (%) |
| Ni <sub>15</sub> Ce <sub>20</sub> Al | 165                                                   | 5,0                                      | CeO <sub>2</sub> -cúbica,         | 560                                    | 13900                                   | 15700        | 30,6                                           | 57,9                                        |
| Ni <sub>30</sub> Ce <sub>20</sub> Al | 165                                                   | 11,8                                     | γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 552                                    | 13900, 26400                            | 15700        | 39,9                                           | 56,5                                        |
| Ni <sub>15</sub> Zr <sub>20</sub> Al | 190                                                   | 6,7                                      | ZrO <sub>2</sub> -Td,             | 534                                    | 13900                                   | 15500, 17000 | 10,1                                           | 82,3                                        |
| Ni <sub>30</sub> Zr <sub>20</sub> Al | 190                                                   | 15,0                                     | γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 515                                    | 13900                                   | 15500        | 16,0                                           | 68,5                                        |

<sup>1</sup> Tamaño de cristalita del NiO calculado mediante la ecuación de Scherrer (K = 0,9), <sup>2</sup> determinado por DRX y Raman, <sup>3</sup> señales características de Ni octaédrico y tetraédrico mediante espectroscopia UV-Vis de reflectancia difusa, <sup>4</sup> conversión de etano y selectividad a etileno a 400 °C (6% C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, 6% O<sub>2</sub> y balance con He, W/F= 0,6 g s /cm<sup>3</sup>).

Los catalizadores que poseen especies de níquel más reducibles y más especies octaédricas mostraron mayor conversión, mientras que la presencia de especies tetraédricas y menos reducibles promovieron la selectividad a etileno. Esto está relacionado con la interacción de las mismas con el soporte y su naturaleza.

## Referencias:

- Heracleous E., Lee A. F., Wilson K., Lemonidou A. A. (2005). *J. Catal.*, 231, 159 – 171. 10.1016/j.jcat.2005.01.015
- Solsona B., Concepción P., Hernández S., Demicol B., López Nieto J. M. (2012). *Catal. Today*, 180, 51 – 58.



# **Estudio de catalizadores de Cu soportados sobre arcilla para la remoción de contaminantes fenólicos en agua.**

**Natalia L. Courtalón\*, Paula Brussino, Ezequiel D. Banús, Juan P. Bortolozzi**

*Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE-CONICET), Santa Fe, Argentina.*

\* [ncourtalon@fiq.unl.edu.ar](mailto:ncourtalon@fiq.unl.edu.ar)

**Palabras clave:** Catalizador, Arcilla, Fenol, Procesos de Oxidación Avanzados.

## **Resumen**

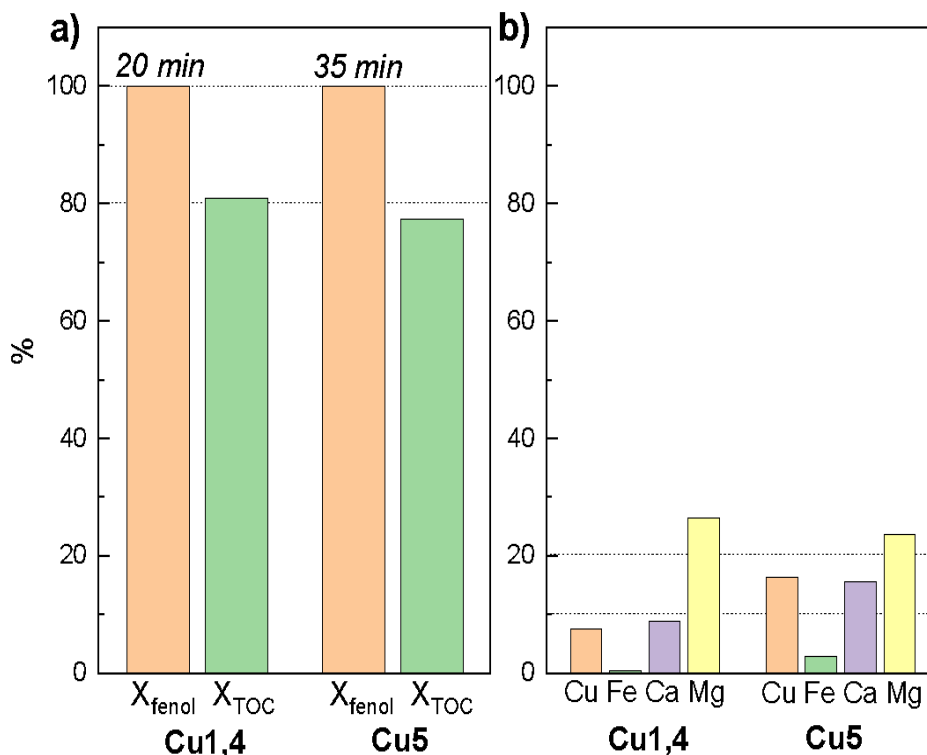
Entre los contaminantes más problemáticos presentes en las aguas residuales industriales se encuentran el fenol y sus compuestos derivados, que son tóxicos y de escasa biodegradabilidad. Particularmente, el fenol es ampliamente utilizado en la fabricación de elementos de uso diario (plásticos, pinturas, papeles) así como en la industria petroquímica y farmacéutica (Villegas et al., 2016). Una de las técnicas más prometedoras para su eliminación es la oxidación catalítica con agua oxigenada, que podría transformar el fenol en dióxido de carbono o ácidos de cadena corta, según su grado de mineralización.

En ese contexto, se estudiaron catalizadores de Cu en polvo soportados en arcilla para la reacción de oxidación de fenol con peróxido de hidrógeno, con el objetivo de establecer su viabilidad para la posterior construcción de sistemas estructurados mediante impresión 3D. Se prepararon catalizadores con 1,4 y 5 % de Cu a través de la técnica de impregnación húmeda sobre un soporte de arcilla, previamente seca, molida y calcinada a 750°C. Posteriormente, se trataron térmicamente a 1000°C y se nombraron como Cu1,4 y Cu5. Los porcentajes de metal activo utilizados se seleccionaron a partir de estudios previos. Los catalizadores se caracterizaron usando diversas técnicas: Difracción de Rayos X (DRX) y Espectroscopías Raman (RS), IR (FTIR) y Fotoelectrónica de Rayos X (XPS). La actividad catalítica se estudió midiendo la conversión de fenol ( $X_F$ ) mediante colorimetría. Además, se realizaron mediciones de pH y de Carbono Orgánico Total (TOC) para estimar la mineralización ( $X_{TOC}$ ) y se cuantificó la lixiviación metálica mediante Absorción Atómica (%).

El soporte fresco utilizado está compuesto principalmente por caolinita y cuarzo. Se identificó también la presencia de Ca, Mg, K y Fe como principales impurezas. La arcilla atraviesa una transición de fase a metacaolinita al ser sometida a tratamientos térmicos a temperaturas mayores de 400°C. A temperaturas por encima de 1000°C se produce la transición del cuarzo a la fase cristobalita (Courtalón et al., 2024).

Los sistemas catalíticos se caracterizaron antes y después de la reacción. El difractograma (DRX) correspondiente al catalizador con mayor carga metálica mostró señales coincidentes con las dos principales atribuidas a CuO, mientras que las mismas no se detectaron en el difractograma del sólido de baja carga. Por su parte, los espectros IR de los catalizadores mostraron bandas de absorción a 915 y 612  $\text{cm}^{-1}$ , coincidentes con las observadas para la fase CuO pura. Esto se verificó además por espectroscopia Raman, visualizándose tres bandas características de ese óxido. Por su parte, mediante XPS se estudió la región Cu 2  $p_{3/2}$  y 2  $p_{1/2}$ , presentando una señal principal seguida de un satélite shake-up, siendo esto un indicador de la presencia de especies  $\text{Cu}^{2+}$ . Además, se determinó el parámetro Auger modificado promedio, que indicó una presencia dominante de  $\text{Cu}^{2+}$ .





**Figura 1.** Resultados de actividad catalítica en la reacción de oxidación de fenol con peróxido de hidrógeno.

Los resultados de la reacción (Figura 1.a) revelaron conversión total de fenol, que se alcanzó a los 20 y 35 min para los catalizadores Cu1,4 y Cu5, respectivamente. Con los dos sistemas se obtuvieron valores altos de mineralización ( $X_{\text{TOC}} \approx 80\%$ ), aunque no resultó completa. El pH inicial del medio de reacción fue de 8 y 5, disminuyendo hasta un valor final de 3 para ambos sistemas estudiados. La Figura 1.b presenta el porcentaje de los metales lixiviados a la solución por los catalizadores al finalizar la reacción. En la misma se observa que la lixiviación de Cu fue de 7.7 y 16.5% para los catalizadores con 1.4 y 5% de Cu respectivamente, mientras que la de Fe resultó muy baja (<3%). Asimismo, se detectó Ca y Mg en solución luego de la reacción, provenientes del soporte.

Los sistemas catalíticos preparados demostraron elevada actividad en la oxidación de fenol con agua oxigenada, destacándose la formulación con menor carga de cobre, que alcanzó conversión total y un mayor grado de mineralización. Conjuntamente, la lixiviación del material activo fue muy baja, lo que indica que los catalizadores preparados resultaron eficientes. A partir de estos resultados y considerando la plasticidad característica del soporte, los sistemas estudiados presentan viabilidad para la fabricación de estructuras catalíticas mediante impresión 3D.

## Referencias:

Courtalón, N. L., Milt, V. G., Dieuzeide, M. L., Miró, E. E., Banús, E. D., & Bortolozzi, J. P. (2024). *Catalysts*, 14(12), 882. <https://doi.org/10.3390/catal14120882>.

Villegas, L. G. C., Mashhadi, N., Chen, M., Mukherjee, D., Taylor, K. E., & Biswas, N. (2016). *Current Pollution Reports*, 2(3), 157–167. <https://doi.org/10.1007/s40726-016-0035-3>.





## Desarrollo de una cascada quimio-enzimática impulsada por luz visible para remoción de materia orgánica en aguas.

**Fabrizio Viale<sup>a\*</sup>, Adrián Heredia<sup>b</sup>, Tamara Benzaquén<sup>a</sup>, Verónica Elías<sup>a</sup>, Griselda Eimer<sup>a</sup>, Gabriel Ferrero<sup>c\*</sup>.**

<sup>a</sup> Centro de Investigación y Tecnología Química – Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Córdoba (CITeQ - UTN-FRC - CONICET), Córdoba, Argentina \* [fviale@frc.utn.edu.ar](mailto:fviale@frc.utn.edu.ar)

<sup>b</sup> Instituto de Investigaciones en Físico-Química de Córdoba (INFIQC - FCQ-UNC - CONICET), Córdoba, Argentina

<sup>c</sup> Centro de Investigaciones en Química Biológica de Córdoba (CIQUIBIC - FCQ-UNC - CONICET), Córdoba, Argentina

\* [gabrielferrero@fcq.unc.edu.ar](mailto:gabrielferrero@fcq.unc.edu.ar)

**Palabras clave:** Cascada quimio-enzimática, Sílices mesoporosas, Procesos de oxidación avanzados, Biocatálisis heterogénea

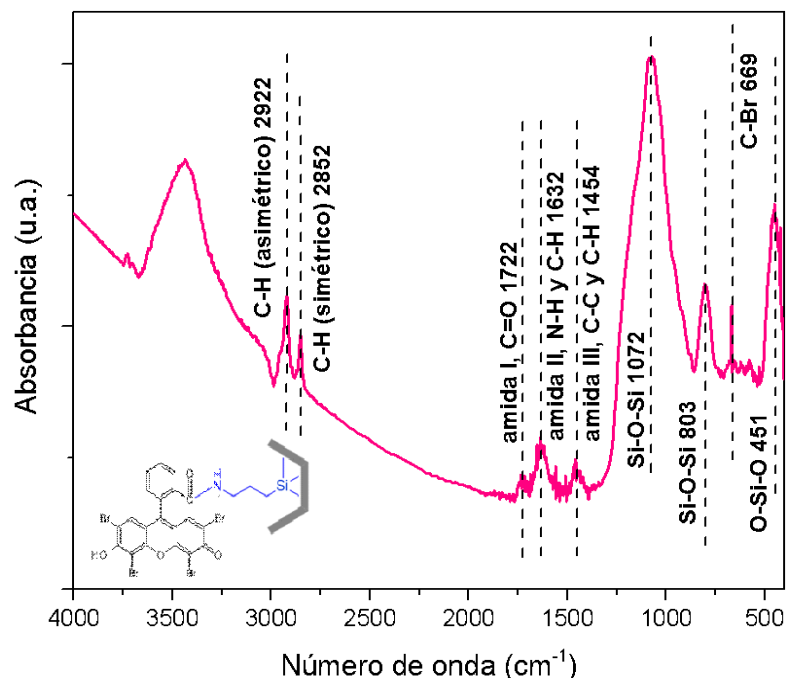
### Resumen

Existe un interés creciente en el desarrollo y estudio de tratamientos de aguas residuales, particularmente cuando presentan compuestos orgánicos (colorantes sintéticos, medicamentos, hormonas, compuestos fenólicos, etc.), debido a la gran demanda hídrica. Estos compuestos son de una naturaleza recalcitrante, presentando gran resistencia ante procesos de purificación convencionales. Por lo tanto, resulta sumamente interesante aplicar procesos no tradicionales en el tratamiento de estos efluentes, combinando procesos de oxidación avanzada (PAOs) (Pandis et al., 2022) con oxidaciones enzimáticas mediante reacciones en cascada quimio-enzimática.

Este trabajo se centra en el desarrollo de una cascada quimio-enzimática sobre un material de sílice mesoporosa de tipo SBA-15 modificado covalentemente con un catalizador foto-rédox como la eosina Y (EY). Este colorante presenta un pico de absorción a 532,5 nm y puede generar especies reactivas de oxígeno (ROS) cuando se lo irradia con longitudes de onda cercanas a su máximo de absorción (Romero & Nicewicz, 2016). La conformación del enlace covalente se lleva a cabo mediante la generación de un enlace amida empleando 3-aminopropiltrietoxisilano (APTES) como *linker*. Para comprobar esta acción, el material modificado (EY/SBA-15) fue suspendido en una solución *buffer* (fosfato, 70 mM, pH 7,5) conteniendo fenol (20 ppm), la enzima superóxido dismutasa (SOD) y la enzima peroxidasa de rábano picante (HRP) (Sáringer et al., 2021). La suspensión se expuso por 30 minutos a una luz LED verde (525 nm) para generar radicales superóxido ( $O_2^{\bullet-}$ ) que actúan como sustrato de la SOD, generando *in situ* peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), el cual es el sustrato de la HRP, siendo esta la responsable de oxidar y acelerar la degradación del compuesto orgánico modelo, fenol.

El espectro de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) del material EY/SBA-15 (Figura 1) muestra que la EY se enlaza exitosamente a la matriz SBA-15, mediante la presencia del enlace amida ( $1450$  y  $1750\text{ cm}^{-1}$ ) y otros enlaces como el C-Br proveniente del colorante.





**Figura 1.** Espectro FTIR para el material EY/SBA-15 con bandas asignadas según la estructura de EY y del enlace con el soporte.

En lo que respecta a la evaluación del proceso de degradación del fenol, se detecta un marcado incremento, removiendo un 47% del total de fenol tras la adición enzimática (Tabla 1). Estos resultados en conjunto con los controles indican que la cascada quimio-enzimática es funcionalmente activa. Esta aceleración se produce por especies oxidantes generadas por la actividad HRP, que resulta mucho más efectiva en la degradación de fenol que  $O_2^{\bullet-}$  y otras ROS generadas por la actividad foto-rédox de EY.

**Tabla 1.** Evaluación de la remoción de fenol en presencia y ausencia de catalizador, fuente de irradiación y enzimas.

| Fenol        | Blanco<br>(525 nm) | EY/SBA-15<br>(525 nm) | HRP+SOD+EY/SBA-15<br>(oscuro) | HRP+SOD+EY/SBA-15<br>(525 nm) |
|--------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Remoción (%) | 0                  | 1,13                  | 0,67                          | 48,34                         |

A partir de estos resultados se proyecta la optimización de la cascada quimio-enzimática, incluyendo la inmovilización enzimática, el estudio de parámetros cinéticos, la evaluación frente a otros contaminantes (fenólicos o no) y la utilización de distintas fuentes de radiación.

## Referencias

- Pandis, P., Kalogirou, C., Kanellou, E., Vaitsis, C., Savvidou, M., Sourkouni, G., Zorpas, A., & Argirusis, C. (2022). *ChemEngineering*, 6, 8 (1–22). <https://doi.org/10.3390/chemengineering6010008>
- Romero, N., & Nicewicz, D. (2016). *Chemical Reviews*, 116, 10075–10166. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00057>
- Sáringer, S., Rouster, P., & Szilagyi, I. (2021). *Journal of Colloid and Interface Science*, 590, 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.01.012>



# Influencia del tratamiento alcalino en la actividad catalítica de un material derivado de diatomitas residuales para la degradación tipo-Fenton de contaminantes emergentes

**Romina Di Iorio<sup>a</sup>, Lucía Ferraro<sup>b</sup>, Mayra Bonaldo<sup>c</sup>, Natalia Inchaurredo<sup>d</sup>, Laura Fasce<sup>e\*</sup>.**

<sup>a</sup> [romidiiorio@gmail.com](mailto:romidiiorio@gmail.com), INTEMA (CONICET-UNMdP), Mar del Plata, Argentina.

<sup>b</sup> [luciavferraro@gmail.com](mailto:luciavferraro@gmail.com), INTEMA (CONICET-UNMdP), Mar del Plata, Argentina.

<sup>c</sup> [mayrabonaldo99@gmail.com](mailto:mayrabonaldo99@gmail.com), INTEMA (CONICET-UNMdP), Mar del Plata, Argentina.

<sup>d</sup> [ninchaurredo@gmail.com](mailto:ninchaurredo@gmail.com), INTEMA (CONICET-UNMdP), Mar del Plata, Argentina.

<sup>e</sup> [lfasce@fi.mdp.edu.ar](mailto:lfasce@fi.mdp.edu.ar), Departamento de Ingeniería Química y en Alimentos, Facultad de Ingeniería, UNMdP, Mar del Plata, Argentina // INTEMA (CONICET-UNMdP), Mar del Plata, Argentina.

**Palabras clave:** tierra de diatomeas gastadas, Fenton, catálisis, contaminantes emergentes.

## Resumen

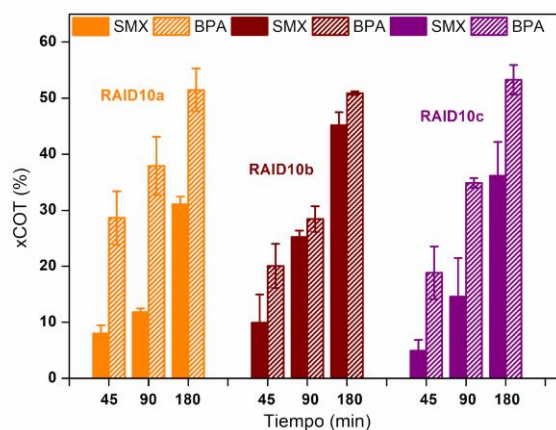
La valorización de residuos industriales constituye una estrategia clave dentro del paradigma de la economía circular, y adquiere especial relevancia en el desarrollo de catalizadores capaces de abordar el tratamiento de contaminantes emergentes mediante procesos de oxidación avanzada. En este trabajo se desarrollaron catalizadores tipo-Fenton heterogéneos a partir de diatomitas residuales de la industria cervecera, se evaluó la influencia del tratamiento alcalino sobre sus propiedades fisicoquímicas y su desempeño catalítico en la degradación de bisfenol-A (BPA) y sulfametoxazol (SMX) en medio acuoso. El residuo de partida, compuesto por tierra de diatomeas, agente estabilizante y materia orgánica, se sometió a un tratamiento secuencial basado en estudios previos del grupo (Di Iorio et al., 2025): (i) regeneración térmica (550 °C, 4 h), (ii) activación alcalina con NaOH (95 °C, 4 h), y (iii) impregnación por humedad incipiente con Fe(III), seguida de calcinación a 400 °C, generando la fase activa de hematita. Se varió la concentración de NaOH (0,675; 1,25 y 2,5 mol L<sup>-1</sup>) en el ataque alcalino, obteniéndose materiales con áreas superficiales de 5, 22 y 24 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, respectivamente, los cuales se impregnaron con un 10 % adicional de Fe.

Los tres materiales se caracterizaron mediante fisisorción de N<sub>2</sub> (S<sub>BET</sub>) y se determinó el contenido real de hierro por digestión ácida. La actividad catalítica se evaluó en la degradación tipo-Fenton de los contaminantes en un reactor discontinuo a 70 °C y pH 3 durante 180 min, empleando la dosis estequiométrica de oxidante (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) para su mineralización completa. La evolución del proceso se siguió mediante mediciones de carbono orgánico total (COT), consumo de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, concentración de hierro lixiviado, SMX y BPA.

La Tabla 1 presenta las propiedades fisicoquímicas de los catalizadores (área superficial y contenido de Fe), el rendimiento del proceso de preparación ( $\phi_p$ ), definido como la relación entre la masa obtenida tras el ataque alcalino y la masa inicial de diatomita calcinada; junto con parámetros del proceso, como la concentración de Fe lixiviado al final de la reacción y la eficiencia en el consumo de oxidante ( $\epsilon$ ). La Figura 1 muestra la evolución del COT en función del tiempo de reacción para ambos contaminantes y los distintos materiales.



| Catalizador | Preparación y caracterización  |                     |               |                                                | Reacción                      |      |                                                         |     |
|-------------|--------------------------------|---------------------|---------------|------------------------------------------------|-------------------------------|------|---------------------------------------------------------|-----|
|             | NaOH<br>(mol L <sup>-1</sup> ) | $\phi_P$<br>(% p/p) | Fe<br>(% p/p) | $S_{BET}$<br>(m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ) | [Fe <sub>LIX</sub> ]<br>(ppm) |      | $\epsilon$<br>(mg COT/g H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) |     |
|             |                                |                     |               |                                                | BPA                           | SMX  | BPA                                                     | SMX |
| RAID10a     | 2.5                            | 13                  | 11.5          | 22.3                                           | 1.26                          | 0.84 | 126                                                     | 68  |
| RAID10b     | 1.25                           | 37                  | 11.2          | 18.7                                           | 0.91                          | 0.93 | 122                                                     | 90  |
| RAID10c     | 0.675                          | 70                  | 11.1          | 19.0                                           | 0.20                          | 0.42 | 186                                                     | 121 |



En todos los casos se logró la eliminación completa de los contaminantes. El BPA se degradó más rápidamente que el SMX, probablemente debido a la mayor reactividad de sus grupos fenólicos frente a los radicales hidroxilo ( $\bullet\text{OH}$ ) y la mayor complejidad estructural y recalcitrancia del SMX. El nivel de mineralización fue siempre mayor para el BPA y prácticamente independiente del material. Las diferencias se observaron sobre todo en la degradación del SMX, aunque fueron leves debido a las áreas superficiales y contenidos de Fe similares. En términos globales, el catalizador tratado con NaOH 1,25 M (RAID10b) mostró las mayores conversiones de COT. Sin embargo, el tratamiento más suave (0,675 M, RAID10c), pese a generar un soporte de baja área ( $5 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ), presentó un rendimiento de síntesis muy superior y solo una ligera disminución en la mineralización del SMX. Sumado a su mayor eficiencia en el consumo de oxidante y al menor lixiviado de Fe —indicador de una estabilidad superior a largo plazo— este material se posiciona como la alternativa más atractiva para valorizar tierras de diatomeas residuales en catalizadores Fenton, con margen para potenciar su actividad mediante la optimización de las condiciones operativas (dosificación de oxidante y tiempo de reacción).

Di Iorio, R., Inchaurredo, N.S., Ramos, C.P., Cristóbal, A., Fasce, L.A. (2025). *J. Environ. Chem. Eng.* 13, 117800. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.117800>.



# **Catalizadores Co-Ce soportados sobre monolitos de mallas metálicas para el control de emisiones diésel: efecto de la carga catalítica en la oxidación de hollín y CO**

María Laura Godoy<sup>a\*</sup>, Viviana G. Milt<sup>b</sup>, Eduardo E. Miró<sup>c</sup>, Ezequiel D. Banús<sup>d</sup>

<sup>a</sup> *mgodoy@fiq.unl.edu.ar, INCAPE – FIQ, UNL – CONICET, Santa Fe, Argentina.*

<sup>b</sup> *vmilt@fiq.unl.edu.ar, INCAPE – FIQ, UNL – CONICET, Santa Fe, Argentina.*

<sup>c</sup> *emiro@fiq.unl.edu.ar, INCAPE – FIQ, UNL – CONICET, Santa Fe, Argentina.*

<sup>d</sup> *edbanus@fiq.unl.edu.ar, INCAPE – FIQ, UNL – CONICET, Santa Fe, Argentina.*

**Palabras clave:** monolitos de mallas metálicas, Co-Ce, oxidación de hollín, oxidación de CO.

## **Resumen**

Las emisiones de material particulado (hollín) y monóxido de carbono (CO), provenientes principalmente de motores diésel, constituyen una problemática ambiental crítica debido a su impacto sobre la salud humana y la calidad del aire. En este contexto, el desarrollo de catalizadores eficientes para el control de emisiones resulta clave, destacándose los óxidos de metales de transición por su bajo costo y elevada actividad. En particular, los sistemas basados en óxidos mixtos Co-Ce presentan propiedades redox favorables y una alta capacidad de almacenamiento de oxígeno, lo que los posiciona como materiales promisorios para la oxidación de contaminantes. En este trabajo se evalúa el efecto de la carga catalítica en catalizadores Co-Ce soportados sobre monolitos de mallas metálicas, con el objetivo de optimizar su desempeño en la combustión de hollín y la oxidación de CO.

Los óxidos mixtos Co-Ce se sintetizaron mediante el método de spray-precipitación, el cual permite obtener partículas nanométricas con buena homogeneidad y control de composición. Se prepararon empleando diferentes relaciones molares Co:Ce (0:1, 1:1, 9:1 y 1:0), y se calcinaron a 600 °C. La caracterización estructural mediante difracción de rayos X y espectroscopia Raman evidenció la coexistencia de las fases de CeO<sub>2</sub> con estructura tipo fluorita y de Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> con estructura espinela. Asimismo, las micrografías SEM mostraron la formación de nanopartículas con morfologías dependientes de la composición: partículas esféricas en el caso de CeO<sub>2</sub> y estructuras tipo bastón y disco para Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, mientras que los óxidos mixtos presentaron características intermedias.

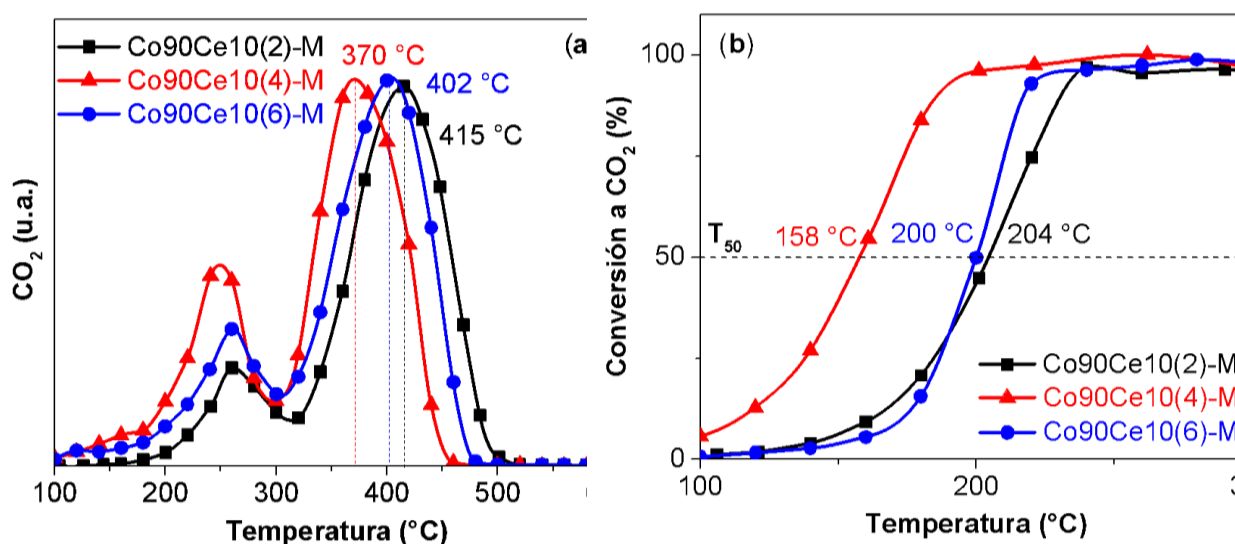
La actividad catalítica en la combustión de hollín se evaluó mediante ensayos de oxidación a temperatura programada. Entre las muestras en polvo estudiadas, el sólido preparado a partir de la relación molar Co:Ce = 9:1 (Co90Ce10) presentó la mejor performance catalítica, con una temperatura de máxima velocidad de combustión (T<sub>M</sub>) de 358 °C, atribuida a un adecuado balance entre sitios activos de cobalto y la movilidad de oxígeno proporcionada por la ceria. En base a esto se seleccionó esta composición para la preparación de catalizadores estructurados.

Los sistemas estructurados se obtuvieron mediante la deposición del catalizador sobre monolitos de mallas metálicas de acero inoxidable utilizando la técnica de washcoating. Se evaluó el efecto de la carga catalítica variando el número de ciclos de inmersión (2, 4 y 6), lo que permitió modificar el espesor de la capa depositada. Los ensayos catalíticos revelaron que el desempeño de los materiales depende fuertemente de este parámetro. En particular, la muestra Co90Ce10(4)-M presentó la mayor actividad, con una T<sub>M</sub> de aproximadamente 370 °C en la combustión de hollín y una temperatura de 50% de conversión de CO (T<sub>50</sub>) de 158 °C, como se muestra en la **Fig. 1**.



El comportamiento observado sugiere la existencia de un espesor óptimo de la capa catalítica. Para bajas cargas (2 ciclos), la cantidad de fase activa resulta insuficiente para promover la reacción de manera eficiente. En contraste, cargas elevadas (6 ciclos) generan capas más gruesas que inducen limitaciones difusionales, reduciendo la accesibilidad de los reactivos a los sitios activos y disminuyendo la eficiencia global del sistema. En este sentido, el mejor desempeño del material con 4 ciclos se atribuye a un adecuado compromiso entre cantidad de fase activa, dispersión y accesibilidad.

En conjunto, los resultados demuestran que la optimización de la carga catalítica en sistemas estructurados tipo monolito constituye un parámetro determinante para maximizar la actividad, al definir el equilibrio entre la cantidad de fase activa disponible y la accesibilidad de los reactivos. La identificación de un espesor óptimo de recubrimiento pone de manifiesto el rol crítico de las limitaciones difusionales en este tipo de configuraciones. En este sentido, los catalizadores Co-Ce soportados sobre mallas metálicas emergen como una plataforma eficiente y versátil para el control de emisiones diésel, aportando criterios de diseño relevantes para el desarrollo de sistemas catalíticos avanzados orientados a la remediación de contaminantes atmosféricos.



**Figura 1.** (a) Perfiles de combustión catalítica de hollín y (b) curvas de conversión correspondientes a la oxidación de CO de los catalizadores estructurados.

## Referencias:

- Godoy, M. L., Milt, V. G., Miró, E. E., Banús, E. D. (2024). *Chemosphere*, 362, 142734. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142734>
- Godoy, M. L., Banús, E. D., Bon, M., Miró, E. E., Milt, V. G. (2023). *Catalysts*, 13, 660. <https://doi.org/10.3390/catal13040660>



# Óxidos mixtos de Cu-Zn-Mg-Al para la transesterificación de glicerol: relación estructura-basicidad y desactivación controlada por la temperatura de calcinación.

**Dalma S. Argüello<sup>a\*</sup>**, Nancy F. Bálsamo<sup>a</sup>, Griselda A. Eimer<sup>a</sup>, Mónica E. Crivello<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Centro de Investigación y Tecnología Química, CONICET, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Córdoba, Argentina.

\* [darguello@frc.utn.edu.ar](mailto:darguello@frc.utn.edu.ar)

**Palabras clave:** Hidróxidos dobles laminares, Óxidos mixtos, Glicerol, Catálisis heterogénea

## Resumen

La valorización del glicerol (Gly), subproducto de la industria del biodiesel, hacia carbonato de glicerol (CG) representa una ruta sustentable de alto valor agregado (Ferrari et al., 2022; Gade et al., 2022). En este trabajo se evaluó el efecto de la temperatura de calcinación sobre las propiedades fisicoquímicas, actividad catalítica y estabilidad de óxidos metálicos mixtos (OMM) Cu-Zn-Mg-Al derivados de hidróxidos dobles laminares (HDL) para la transesterificación de glicerol con carbonato de dimetilo (DMC).

Los HDL se sintetizaron por coprecipitación con una relación M/Al = 3 (M = 15 % at. Cu, 25 % at. Zn y 60 % at. Mg), y los OMM se obtuvieron por calcinación a 450 °C, 550 °C, 650 °C y 750 °C durante 9 h (Argüello et al., 2024). Los materiales se caracterizaron mediante DRX, adsorción-desorción de N<sub>2</sub>, SEM, DTP-CO<sub>2</sub>, TG, FT-IR, entre otras. La reacción se llevó a cabo en un reactor discontinuo a 85 °C durante 4,5 h, con relación molar glicerol/DMC = 1/2 y 7,5 % p/p de catalizador.

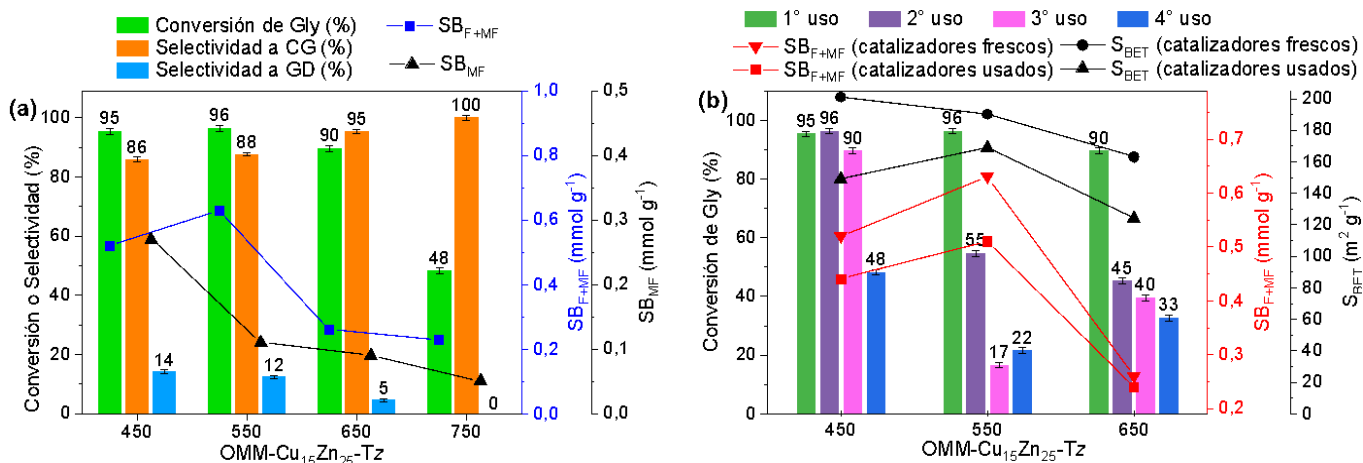
El aumento de la temperatura de calcinación incrementó la cristalinidad y el tamaño de cristalito, acompañado por una disminución del área superficial (Tabla 1) y modificaciones en la distribución de sitios básicos (Fig. 1-a). Los catalizadores calcinados entre 450 y 650 °C presentaron altas conversiones de glicerol ( $\approx$  90-96 %) y rendimientos a CG de 82-86 %, mientras que el material calcinado a 750 °C mostró una marcada disminución de la actividad debido al sinterizado y la formación de fases espinela. Asimismo, se observó una correlación entre la suma de los sitios básicos fuertes y muy fuertes (SB<sub>F+MF</sub>) y la conversión de glicerol (Fig. 1-a) (Marimuthu et al., 2018). La disminución de los sitios básicos muy fuertes (SB<sub>MF</sub>) con el aumento de la temperatura de calcinación también influyó en las selectividades. A 450 °C, la selectividad a CG fue de 85,9 %, debido a que la selectividad a glicidol (GD) alcanzó su máximo (14 %). Al aumentar la temperatura de calcinación, la selectividad a CG se incrementó, mientras que la selectividad a GD disminuyó. Estos resultados sugieren que bajas temperaturas de calcinación favorecen la conversión al mantener una proporción suficiente de SB<sub>F+MF</sub>, aunque los SB<sub>MF</sub> también promueven la descarboxilación del CG hacia GD. Los ensayos de reuso de los catalizadores con mayores rendimientos a CG (Tabla 1) mostraron una pérdida progresiva de actividad atribuida a cambios estructurales durante los ciclos reacción-regeneración. Los análisis TG y FTIR confirmaron la presencia de compuestos retenidos, cuya eliminación por recalcinación permitió recuperar parcialmente la actividad. La desactivación se asocia principalmente a la evolución estructural, evidenciada por la disminución del área superficial, el aumento del tamaño de cristalito y la reducción de los SB<sub>F+MF</sub>, más marcados a mayores temperaturas de calcinación (Fig. 1-b). El ajuste de la temperatura de calcinación modula el balance entre actividad y estabilidad, siendo 450 °C la condición con mejor compromiso y mayor resistencia al reuso, aportando criterios para el diseño de óxidos mixtos de Cu-Zn-Mg-Al más estables en la producción de carbonato de glicerol.

**Tabla 1.** Resultados del análisis textural, cristalográfico y desempeño catalítico de los OMM frescos.



| Catalizador                                 | $S_{BET}$ ( $m^2 g^{-1}$ ) | Tamaño de cristalito <sup>a</sup> (Å) | Rendimiento a CG (%) |
|---------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| OMM-Cu <sub>15</sub> Zn <sub>25</sub> -T450 | 201                        | 28,8                                  | 81,9                 |
| OMM-Cu <sub>15</sub> Zn <sub>25</sub> -T550 | 190                        | 32,3                                  | 84,4                 |
| OMM-Cu <sub>15</sub> Zn <sub>25</sub> -T650 | 163                        | 37,2                                  | 85,5                 |
| OMM-Cu <sub>15</sub> Zn <sub>25</sub> -T750 | 78                         | 105,2                                 | 48,2                 |

<sup>a</sup> Tamaño de cristalito estimado utilizando la ecuación de Scherrer a partir de la reflexión (200) de MgO.



**Figura 1. (a)** Cantidad de SB<sub>F+MF</sub> y actividad catalítica; **(b)** cantidad de SB<sub>F+MF</sub>, área superficial y desempeño catalítico en reusos.

## Referencias:

- Argüello, D. S., Cabana Saavedra, L. C., Mendoza, S. M., Oliva, M. I., Rodríguez-Castellón, E., Bálsamo, N. F., Eimer, G. A., & Crivello, M. E. (2024). *Catalysis Today*, 427(July 2023), 114415. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2023.114415>
- Ferrari, L., Tuler, F., Promancio, E., Gusé, L., Touza, D. G., Casas, C., & Comelli, R. A. (2022). *Catalysis Today*, 394–396, 247–255. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2021.09.005>
- Gade, S. M., Saptal, V. B., & Bhanage, B. M. (2022). *Catalysis Communications*, 172(August), 106542. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2022.106542>
- Marimuthu, M., Marimuthu, P., Ashok, A. K., Palanivelu, S., & Rajagopalan, V. (2018). *Molecular Catalysis*, 460(September), 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2018.09.002>

## Reducción catalítica de nitrito en fase acuosa empleando catalizadores Ni-In/SiO<sub>2</sub> y ácido fórmico como agente reductor







amonio, empleando para su análisis el método de Gries, Gries-Columna de Cd y Berthelot modificado respectivamente. Se registró el pH al inicio y final de la reacción.

**Resultados principales.** *Evolución de la concentración de nitrito/nitrato y amonio (Fig. 1).* Partiendo de 50 ppmN, se observa una conversión parcial de nitritos en todos los catalizadores. En el catalizador 14Ni/S prácticamente no se detecta conversión, mientras que en los catalizadores de Ni:In se observan conversiones mayores, destacándose 14:1Ni:In/S cuya concentración desciende hasta ~35 ppmN a los 60 min, aunque luego asciende levemente. Este comportamiento indica la existencia de un equilibrio dinámico, y no una reducción progresiva e irreversible como la observada en catalizadores nobles como Pd:In [8]. En la Fig. 1B, el material 14Ni/S genera ~32 ppmN de nitratos a los 60 min, para luego disminuir. Este resultado

Figura SEQ Figura \\* ARABIC 1. Concentración vs tiempo para la evolución del

sugiere una reacción de oxidación parcial del nitrito a nitrato o un desplazamiento del equilibrio, un comportamiento que no ha sido claramente reportado en catalizadores nobles. Con el aumento de la carga de In (14:3,5 y 14:7), la formación de nitratos disminuye, lo que indica que el indio inhibe o compite con la vía oxidante. En la Fig. 1C, el amonio se detecta en concentraciones del orden de ~10–20 ppmN, especialmente en los catalizadores que contienen In. Se observa que el catalizador 14Ni/S prácticamente no genera amonio, lo cual es destacable, dado que en catalizadores de metales nobles la producción de  $\text{NH}_4^+$  suele ser el principal subproducto no deseado. La reacción transcurre mediante un mecanismo redox heterogéneo, en el cual el  $\text{HCOOH}$  se descompone sobre los sitios de Ni generando  $\text{H(ads)}$  y  $\text{CO}_2$ . El  $\text{In}^0$  superficial activa el  $\text{NO}_2^-$  adsorbido y se reoxida a  $\text{In}^{3+}$ , el cual es regenerado nuevamente por el  $\text{H(ads)}$  generado en los sitios de Ni. Los productos de reducción observados son principalmente  $\text{NH}_4^+$  (vía sobre-reducción en presencia de  $\text{H(ads)}$  abundante) y  $\text{N}_2$  como producto minoritario, estimado por balance de nitrógeno. Las reacciones de reducción predominantes son:  $\text{NO}_2^- + 3\text{HCOOH} \rightarrow \text{NH}_4^+ + 3\text{CO}_2 + \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O}$  (selectividad mayoritaria),  $2\text{NO}_2^- + 3\text{HCOOH} \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{OH}^-$  (selectividad minoritaria). Se observó una dependencia no lineal entre la conversión y el contenido de indio. El máximo desempeño se obtuvo para el catalizador con 1% de In, lo que sugiere un balance óptimo entre la modificación electrónica del Ni y la disponibilidad de sitios activos. A mayores contenidos de indio, la actividad disminuye, posiblemente debido a efectos de cobertura superficial.

**Conclusiones.** Los catalizadores Ni–In/SiO<sub>2</sub> resultaron activos para la reducción catalítica de nitrito en fase acuosa con ácido fórmico como reductor, operando en condiciones de pH ligeramente ácido (5,1–6,6). La incorporación de In es indispensable para activar la vía reductora: el catalizador monometálico 14Ni/S no reduce el nitrito sino que favorece su desproporción oxidante a nitrato. La actividad sigue una dependencia tipo volcán con el contenido de In, con un óptimo en 1% In, atribuido al balance entre sitios In activos y sitios Ni disponibles para activar el  $\text{HCOOH}$ . El sistema Ni–In/SiO<sub>2</sub> constituye una alternativa de bajo costo respecto a los catalizadores nobles, con potencial para el tratamiento de efluentes contaminados con nitrito.

## Referencias

- [1] Prtisse, U.; Daum, J.; Bock, C.; Vorlop, K.-D. *Catalytic nitrate reduction: kinetic investigations*.
- [2] Garron, A.; Epron, F. *Water Res.* **2005**, *39*, 3073. DOI:10.1016/j.watres.2005.05.012.
- [3] Marchesini, F. A.; Picard, N.; Miró, E. E. *Catal. Commun.* **2012**, *21*. DOI:10.1016/j.catcom.2012.01.015.
- [4] Guo, S.; Heck, K.; et al. *ACS Catal.* **2018**, *8*, 503. DOI:10.1021/acscatal.7b01371.
- [5] Gasparanikova, D.; Kralik, M.; et al. *Mol. Catal.* **2007**, *264*, 93. DOI:10.1016/j.molcata.2006.08.081.
- [6] Praveena, S. M.; et al. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **2019**, *170*, 699. DOI:10.1016/j.ecoenv.2018.12.048.
- [7] He, N.; Li, Z. H. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2016**, *18*, 10005. DOI:10.1039/c6cp00186f.
- [8] Zoppas, F. M.; Da Silva, S. W.; et al. *J. Environ. Chem. Eng.* **2020**, *8*. DOI:10.1016/j.jece.2020.1041271



# Degradación fotocatalítica del colorante azoico naranja de metilo mediante hierro soportado en zeolita LTA, residuo de un proceso industrial

**Edward Peraza<sup>a</sup>, Gaston Bianco<sup>b</sup>, Georgina Ortenzi<sup>c</sup>, Candelaria Leal Marchena<sup>d</sup>**

<sup>a</sup> eperaza@frc.utn.edu.ar, Centro de Investigación y Tecnología Química, Universidad Tecnológica Nacional, CONICET, FRC, Córdoba, Argentina.

<sup>b</sup> gbianco@frc.utn.edu.ar, Centro de Investigación y Tecnología Química, Universidad Tecnológica Nacional, CONICET, FRC, Córdoba, Argentina.

<sup>c</sup> gortenzi@frc.utn.edu.ar, Centro de Investigación y Tecnología Química, Universidad Tecnológica Nacional, CONICET, FRC, Córdoba, Argentina.

<sup>d</sup> cleal@frc.utn.edu.ar, Centro de Investigación y Tecnología Química, Universidad Tecnológica Nacional, CONICET, FRC, Córdoba, Argentina.

**Palabras clave:** fotocátalisis, colorantes azoicos, zeolita LTA.

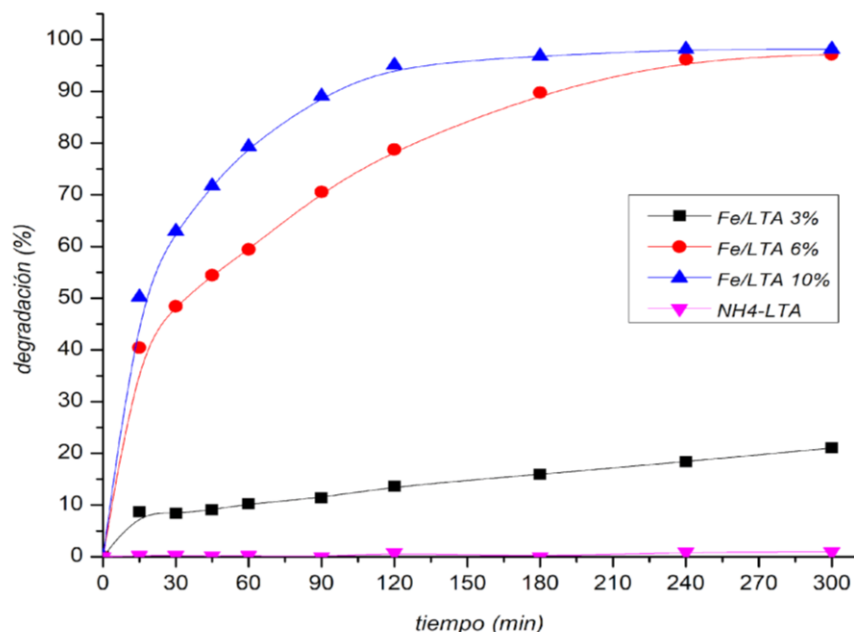
## Resumen

La contaminación causada por colorantes sintéticos constituye un desafío ambiental significativo, particularmente en cuerpos de agua receptores de efluentes industriales (Abhisek et al., 2025). El naranja de metilo es un colorante azoico ampliamente utilizado en la industria textil, y es reconocido por su carácter tóxico y recalcitrante (Ali et al., 2024). En este contexto, el presente trabajo tiene por objetivo evaluar la degradación fotocatalítica de naranja de metilo mediante hierro soportado sobre una zeolita LTA recuperada de un proceso industrial, como estrategia para la eliminación del contaminante.

Esta zeolita es utilizada en torres de intercambio para la deshidratación de bioetanol y posterior obtención de etanol de alta pureza. Una vez agotada su capacidad de adsorción, el material es descartado como residuo. Frente a esto, se planteó reutilizarlo como soporte de especies fotoactivas en la degradación de colorantes azoicos (Kim et al., 2024). Para ello, el material fue homogeneizado físicamente, tratado térmicamente bajo calcinación en atmósfera de aire a 350 °C durante 6 h, y sometido a intercambio catiónico con cloruro de amonio 1 M durante 40 h con el fin de obtener la forma NH<sub>4</sub>-LTA y favorecer su modificación mediante impregnación húmeda con 3, 6 y 10 % p/p de hierro. El material inicial y modificado se caracterizó mediante difracción de rayos X (XRD), área superficial específica por adsorción-desorción de nitrógeno (S<sub>BET</sub>), reducción a temperatura programada (TPR), espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y espectroscopía de reflectancia difusa UV-visible (DRS UV-Vis).

Los ensayos fotocatalíticos se realizaron bajo irradiación UVA en medio acuoso, evaluando la eficiencia de degradación mediante espectrofotometría UV-Vis. Los resultados indican que, luego de 5h de irradiación, la decoloración de naranja de metilo varió entre 21 % y 97 % cuando el porcentaje de hierro se incrementó de 3 a 6 % p/p, y aumentó ligeramente hasta 98 % para un 10 % p/p (Figura 1). Estos hallazgos sugieren que el uso de la zeolita LTA recuperada de la industria como soporte para hierro constituye una alternativa viable en el tratamiento de aguas contaminadas con colorantes azoicos como el naranja de metilo. Además, su aprovechamiento como residuo industrial promueve la economía circular y la sostenibilidad en procesos de remediación ambiental (Ferri & Bolelli, 2025).





**Figura 1.** Degradación fotocatalítica del naranja de metilo empleando distintos porcentajes de hierro soportado sobre la matriz NH<sub>4</sub>-LTA.

## Referencias:

- Abhisek, K., Vhatkar, S. S., Mathew, H. T., Singh, P., & Oraon, R. (2025). A critical review on the challenges and techno-economic assessment of dyes removal technologies from waste water. *Discover Chemistry*, 2(41). <https://doi.org/10.1007/s44371-025-00111-4>
- Ali, A., Khan, Q., Rehman, F., Gul, I., Gohar, F., Zohaib, M., & Sayed, M. (2024). Photocatalytic degradation of methyl orange and methyl violet dyes by UV/Cu<sup>2+</sup>/PDS process. *Water Practice & Technology*, 19(8), 3317-3329. <https://doi.org/10.2166/wpt.2024.184>
- Ferri, E. N., & Bolelli, L. (2025). Wastewater Remediation Treatments Aimed at Water Reuse: Recent Outcomes from Pilot- and Full-Scale Tests. *Applied Sciences*, 15(5), 2448. <https://doi.org/10.3390/app15052448>
- Kim, H., Park, C., Choi, N., & Cho, K. (2024). Congo red dye degradation using Fe-containing mineral as a reactive material derived from waste foundry dust. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 28443-28453. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33064-9>





## Síntesis solvotermal y evaluación catalítica de perovskitas Ca–Fe para la producción de biodiésel.

**Chrystofer Ronney Samaniego Yambay<sup>a\*</sup>, María Lorena Malagón Quinto<sup>a</sup>, Hilda Elizabeth Reynel Ávila<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *thechrystofer@outlook.com, lorena.malagon96@gmail.com, Instituto tecnológico de Aguascalientes, Aguascalientes*

<sup>b</sup> *elizabethreynel@gmail.com, Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, Ciudad de México 03940, México.*

**Palabras clave:** Catálisis, Transesterificación, Biodiesel, Perovskita.

### Resumen

El crecimiento sostenido de la demanda energética global y los impactos ambientales asociados al uso intensivo de combustibles fósiles han impulsado el desarrollo de alternativas sostenibles, entre las cuales el biodiésel destaca como una opción viable y ambientalmente favorable (Alsaadi 2025). Este biocombustible se obtiene principalmente mediante la reacción de transesterificación de aceites vegetales o grasas animales con alcoholes de cadena corta, generando ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) y glicerol como subproducto. No obstante, el uso de catalizadores homogéneos, como hidróxidos alcalinos, presentan limitaciones, como la formación de jabones, dificultades en la separación de fases y generación de efluentes, reduciendo la eficiencia global del proceso y aumenta su impacto ambiental lo que ha promovido el desarrollo de catalizadores heterogéneos más eficientes y sostenibles.

Dentro de los catalizadores heterogéneos, los materiales tipo perovskita ( $ABO_3$ ) han despertado un creciente interés debido a su alta estabilidad térmica, flexibilidad estructural y capacidad de modificar sus propiedades fisicoquímicas mediante dopaje con metales de transición. Estas características permiten ajustar la acidez y basicidad superficial, la densidad de vacancias de oxígeno y la distribución de sitios activos, factores determinantes en la actividad catalítica durante la reacción de transesterificación (Atta et al., 2016; Belew & Assege, 2025).

El presente estudio se centra en la síntesis y evaluación de catalizadores tipo perovskita Ca–Fe con estructura  $ABO_3$ , empleando como precursores  $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$  y  $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ , y  $Na_2CO_3$  como agente controlador de pH. Se evaluó la relación molar Ca:Fe 1:1 con el objetivo de analizar su efecto sobre las propiedades estructurales y el desempeño catalítico del material.

Para la evaluación de las condiciones de síntesis, se implementó un diseño experimental tipo Taguchi  $L_9$ , considerando como variables de estudio la temperatura de síntesis (130-190°C), el tiempo de síntesis (4-12H), la temperatura de activación (500-900°C), y el tiempo de activación (2-6H).

La actividad catalítica de los catalizadores sintetizados se evaluó en la reacción de transesterificación de aceites vegetales con metanol, empleando una relación molar alcohol/aceite de 1:15. La conversión a FAME se determinó mediante cromatografía de gases con detector de ionización de llama (GC-FID), utilizando un equipo Thermo Scientific Trace 1300 y siguiendo la norma EN 14103. Los resultados obtenidos evidenciaron una fuerte dependencia del desempeño catalítico con la temperatura de activación. En particular, a una temperatura de 500 °C se obtuvo una conversión de FAME de 7.67%, mientras que al incrementar la temperatura de activación a 750 y 900 °C se alcanzaron conversiones superiores al 80%. Este comportamiento sugiere que el tratamiento térmico favorece la formación de fases cristalinas más



definidas, así como modificaciones en la estructura superficial del material, incrementando la disponibilidad y accesibilidad de los sitios activos (Li et al., 2022).

Asimismo, se observó que la relación molar Ca:Fe influye significativamente en la actividad catalítica, evidenciando la importancia del control composicional en la síntesis de perovskitas. En conjunto, los resultados permiten establecer una correlación directa entre las condiciones de síntesis, la estructura del material y su desempeño catalítico en la reacción de transesterificación.

En conclusión, las perovskitas Ca–Fe sintetizadas mediante método solvotermal y activadas térmicamente presentan un alto potencial como catalizadores heterogéneos en la producción de biodiésel, alcanzando conversiones de hasta 80 % de FAME. Este estudio contribuye al desarrollo de procesos más eficientes, sostenibles y alineados con los principios de economía circular y transición energética, consolidando a las perovskitas como materiales de interés en aplicaciones de catálisis ambiental y energías renovables.

## Referencias:

- Alsaadi, S., Shakir, M. A., & Ahmad, M. I. (2025). A Comparative Review of Vegetative and Animal-Based Biodiesel: Feedstock Selection, Synthesis Method, Characterization Technique, and Economic Perspective. *Journal of Climate Change*, 11(2), 22. <https://doi.org/10.70917/jcc-2025-013>
- Atta, N. F., Galal, A., & El-Ads, E. H. (2016). Perovskite Nanomaterials – Synthesis, Characterization, and Applications. In *Perovskite Materials - Synthesis, Characterisation, Properties, and Applications*. InTech. <https://doi.org/10.5772/61280>
- Belew, A. A., & Assege, M. A. (2025). Solvothermal synthesis of metal oxide nanoparticles: A review of applications, challenges, and future perspectives. In *Results in Chemistry* (Vol. 16). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2025.102438>
- Li, Y., Niu, S., Hao, Y., Zhou, W., Wang, J., & Liu, J. (2022). Role of oxygen vacancy on activity of Fe-doped SrTiO<sub>3</sub> perovskite bifunctional catalysts for biodiesel production. *Renewable Energy*, 199, 1258–1271. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.09.075>



## Degradación de Naranja II catalizada por Cu(5%)/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en medio básico: efecto de variables de reacción

Ignacio O. Costilla<sup>a,b,\*</sup>, Ana J. Ávila<sup>c</sup>, María L. Ferreira<sup>a,d</sup>, Gabriela M. Tonetto<sup>a,e</sup>

<sup>a</sup> Planta Piloto de Ingeniería Química – PLAPIQUI (UNS – CONICET), Camino La Carrindanga Km 7, CC 717, Bahía Blanca 8000, Argentina.

<sup>b</sup> Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur, Avda. Alem 1253, Bahía Blanca 8000, Argentina.

<sup>c</sup> Laboratorio de Microscopía Electrónica (UAT-CCT-CONICET) Camino La Carrindanga Km 7, Bahía Blanca 8000, Argentina.

<sup>d</sup> Departamento de Química, Universidad Nacional del Sur, Avda. Alem 1253, Bahía Blanca 8000, Argentina.

<sup>e</sup> Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Sur, Avda. Alem 1253, Bahía Blanca 8000, Argentina.

**Palabras clave:** cobre, niobia, proceso de oxidación avanzado, colorante azoico

### Resumen

Se estudió la degradación del colorante azoico Naranja II (NII) mediante un sistema catalítico heterogéneo tipo-Fenton basado en Cu soportado sobre Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en presencia de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, operando en medio básico. El catalizador investigado fue Cu/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> con un contenido nominal de 5 % p/p de cobre (3,75 % p/p determinado experimentalmente), preparado por impregnación a humedad incipiente sobre Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> previamente calcinado a 300 °C. El material había sido caracterizado previamente por espectroscopía de absorción atómica, sortometría de N<sub>2</sub>, FTIR, TPR y TGA (Costilla et al., 2026). En este trabajo se incorporó el análisis SEM-EDS, el cual permitió confirmar cualitativamente la presencia de cobre y evidenciar su distribución homogénea sobre la superficie del soporte, sin observar segregación de fases metálicas, como se muestra en la Figura 1.

Los ensayos se realizaron en reactor batch a pH 9 con una concentración inicial de NII de 30 mg/L, evaluando la degradación del colorante en función de tres variables operativas: concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (20-40 mM), carga de catalizador (3,5-5,5 % p/p), y temperatura de reacción (20-40°C), con un tiempo de reacción de 2 h. La concentración de NII fue determinada por espectrofotometría UV-Vis. El estudio de la influencia de estas variables se realizó mediante un diseño experimental Box–Behnken de tres factores y tres niveles, incluyendo tres puntos centrales para estimar el error experimental. El diseño comprendió 15 corridas experimentales y los resultados obtenidos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA). En la Tabla 1 se presenta los factores experimentales y conversión de NII obtenida en cada uno de los ensayos.

Dentro del rango experimental evaluado, la conversión del colorante varió entre 24,0% y 54,9%, para los ensayos N° 10 y 11, respectivamente. El análisis ANOVA del diseño experimental mostró que el efecto principal más relevante corresponde a la concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (p = 0,0058), siendo el único factor significativo al 95 % de confianza. La carga de catalizador presentó una influencia secundaria cercana al umbral de significancia estadística (p = 0,0620), mientras que la temperatura y las interacciones entre variables no resultaron significativas dentro del dominio experimental considerado. El estadístico R<sup>2</sup> alcanzado fue de 88,2%.

La limitada influencia estadística de la carga de catalizador podría asociarse al carácter bifuncional del sistema Cu/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en la degradación de NII, donde el cobre actúa como centro activo tipo-Fenton Cu<sup>+</sup>/Cu<sup>2+</sup>

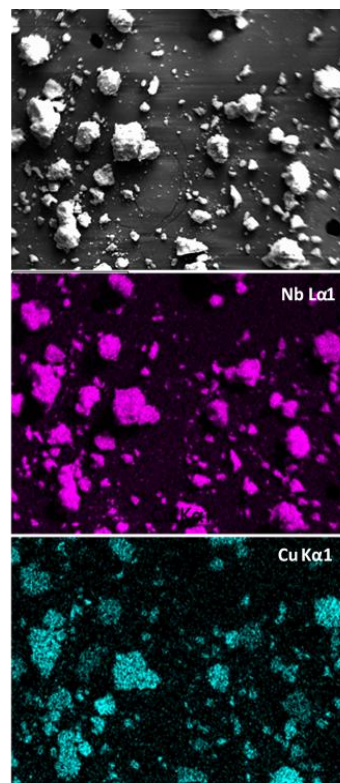


y  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  participa mediante un mecanismo electroprótico (Wolski et al., 2019), pero que también puede competir por el  $\text{H}_2\text{O}_2$  dado su facilidad para formar grupos peroxo superficiales. De manera similar, aunque el aumento de la temperatura acelera la cinética del proceso, también puede promover la descomposición no productiva del oxidante, reduciendo su concentración efectiva en el medio de reacción.

Los resultados obtenidos indican que el sistema  $\text{Cu}/\text{Nb}_2\text{O}_5$  es capaz de activar eficientemente  $\text{H}_2\text{O}_2$  en condiciones alcalinas, favoreciendo la degradación del colorante NII mediante un mecanismo tipo Fenton-like heterogéneo. La mayor influencia de la concentración de oxidante sugiere que la generación de especies reactivas derivadas del peróxido constituye el paso determinante del proceso.

**Tabla 1.** Factores experimentales y conversión de NII.

| N°<br>experimento | $[\text{H}_2\text{O}_2]$<br>(mM) | catalizador<br>(% p/p) | T<br>(°C) | Conversión<br>NII (%) |
|-------------------|----------------------------------|------------------------|-----------|-----------------------|
| 1                 | 40                               | 4.5                    | 20        | 51,8                  |
| 2                 | 30                               | 4.5                    | 30        | 43,0                  |
| 3                 | 30                               | 5.5                    | 20        | 43,5                  |
| 4                 | 30                               | 3.5                    | 20        | 51,0                  |
| 5                 | 30                               | 5.5                    | 40        | 45,5                  |
| 6                 | 40                               | 4.5                    | 40        | 49,8                  |
| 7                 | 30                               | 4.5                    | 30        | 44,4                  |
| 8                 | 30                               | 3.5                    | 40        | 46,6                  |
| 9                 | 20                               | 4.5                    | 20        | 48,7                  |
| 10                | 20                               | 5.5                    | 30        | 24,0                  |
| 11                | 40                               | 3.5                    | 30        | 54,9                  |
| 12                | 40                               | 5.5                    | 30        | 49,9                  |
| 13                | 20                               | 4.5                    | 40        | 30,7                  |
| 14                | 30                               | 4.5                    | 30        | 40,0                  |
| 15                | 20                               | 3.5                    | 30        | 42,0                  |



**Figura 1.** EDS-SEM de  $\text{Cu}/\text{Nb}_2\text{O}_5$ .

## Referencias

- Costilla, I.O., Ferreira, M.L., & Tonetto, G.M. (2026). En *Anales del Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CLICAP 2026)*. San Rafael, Argentina.
- Wolski, L., Walkowiak, A., & Ziolek, M. (2019) *Materials Research Bulletin* 118, 110530.





# Tratamiento de lixiviados de residuos sólidos urbanos mediante coagulación como pretratamiento para un proceso foto-Fenton.

**Nahuel Rodriguez Minuet<sup>a\*</sup>, Griselda A. Eimer<sup>a</sup>, Tamara B. Benzaquén<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> *nahuel.minuet@mi.unc.edu.ar, Centro de Investigación y Tecnología Química (CITeQ) UTN – FRC, CONICET, Córdoba, Argentina.*

**Palabras clave:** Residuos sólidos urbanos, Lixiviados, Coagulación, Foto-Fenton.

## Resumen

La gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) constituye una problemática global. Los rellenos sanitarios, aunque son la metodología de disposición final más utilizada por sus ventajas operativas y económicas, generan lixiviados de elevada carga orgánica y toxicidad, cuyo tratamiento es esencial para prevenir riesgos ambientales y sanitarios (Tatsi et al., 2003). Los tratamientos biológicos, si bien económicos, presentan limitaciones frente a efluentes de baja biodegradabilidad o alta toxicidad (Žgajnar y Pavko, 2015). En este contexto, los Procesos Avanzados de Oxidación (PAOs) se plantean como pretratamiento eficaz, ya que oxidan un amplio espectro de compuestos orgánicos, incrementan la biodegradabilidad y facilitan un tratamiento biológico posterior (Gautam et al., 2019). En el caso de los PAOs fotoquímicos, su eficiencia puede verse reducida por sólidos en suspensión y color, que limitan la penetración de la radiación en el medio reactivo (Makhatova et al., 2020), siendo relevante en estos casos un tratamiento previo a la reacción.

En este trabajo se evaluó un pretratamiento mediante coagulación, utilizando la técnica de Jar-Test con cuatro coagulantes:  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , policloruro de aluminio comercial (PAC) y  $\text{AlCl}_3$ , aplicados a lixiviados crudos del Complejo Ambiental “Piedras Blancas” (Córdoba, Argentina). Se emplearon dosis de 1000 mg/L del metal correspondiente en cada caso, a pH natural del efluente (7-8), agitación controlada y posterior centrifugación. La eficiencia se analizó mediante reducción de Carbono Orgánico Total (COT) y color.

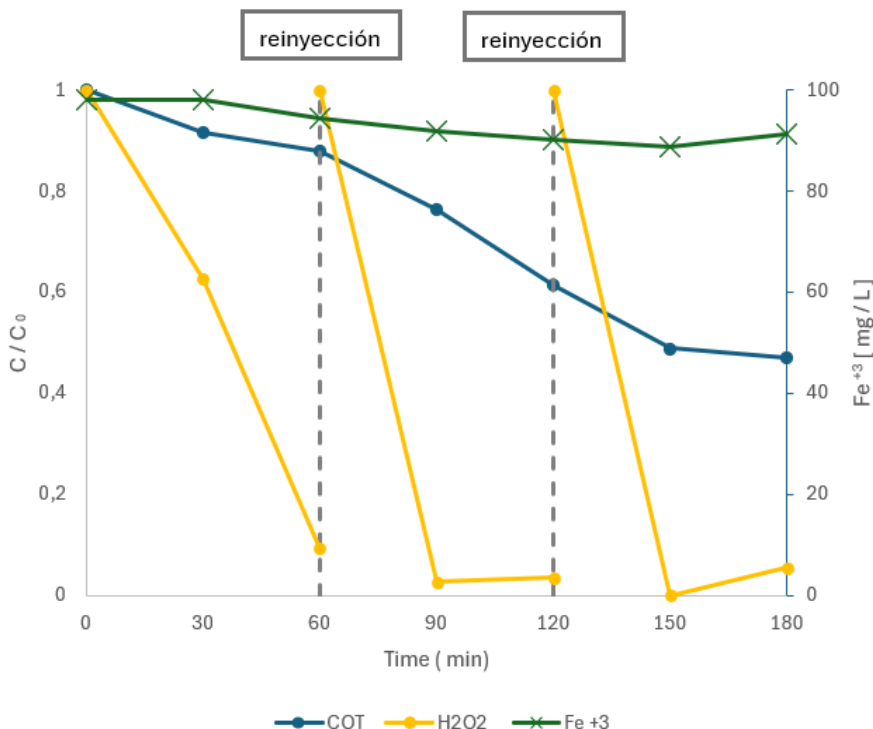
**Tabla 1.** Resultados del Jar-Test.

| Coagulante                   | Reducción de COT | Reducción de color |
|------------------------------|------------------|--------------------|
| PAC                          | 51 %             | 63 %               |
| $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ | 79 %             | 69 %               |
| $\text{AlCl}_3$              | 84 %             | 68 %               |
| $\text{FeCl}_3$              | 59 %             | 44 %               |

De las opciones planteadas, tanto el  $\text{AlCl}_3$  y el  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  presentan un gran desempeño, con resultados similares tanto en remoción de color como COT, por encima del coagulante comercial y del derivado de sales de hierro. Para este ensayo, se optó por emplear  $\text{AlCl}_3$ .

Definido el coagulante, el lixiviado pretratado se sometió a un proceso foto-Fenton en un foto reactor irradiado superiormente por una lámpara LED UV-VIS. A esta solución, trabajando a un pH a 2,8–3, se le evaluó el efecto de una dosis inicial de  $\text{Fe}^{+3}$  y  $\text{H}_2\text{O}_2$  de 100 y 500 mg/L respectivamente, sobre la reducción del COT. La reacción tuvo una duración de 3 horas, con reinyecciones de 500 mg/L de  $\text{H}_2\text{O}_2$  cada 1 hora. El proceso logró una reducción del 53% de COT, alcanzando mayor actividad a partir de la primera hora, coincidente con el incremento en el consumo de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . La concentración de hierro total se mantuvo constante durante todo el transcurso de las reacciones (Figura 1).





**Figura 1.** Evolución del TOC, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y Fe total durante la reacción.

En conclusión, la combinación coagulación–foto-Fenton permitió una disminución global del COT cercana al 90%. Los coagulantes derivados de sales de aluminio resultaron más eficientes para la reducción del color en conjunto con los de COT, asegurando una mayor penetración la radiación en el medio de reacción durante la reacción. El consumo creciente de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sugiere que mayores dosis iniciales o en las reinyecciones podrían optimizar la eficiencia del proceso.

## Referencias

- Gautam, S., Kumar, S., y Lokhandwala, S. (2019). Advanced oxidation processes for treatment of leachate from hazardous waste landfill: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117639. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117639>
- Makhatova, A., Mazhit, B., Sarbassov, Y., Meiramkulova, K., Inglezakis, V. J., & Pouloupoulos, S. G. (2020). Effective photochemical treatment of a municipal solid waste landfill leachate. *PLOS ONE*, 15(9), e0239433. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239433>
- Tatsi, A. A., Zouboulis, A. I., Matis, K. A., y Samaras, P. (2003). Coagulation–flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. *Chemosphere*, 53, 737–744. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00513-7](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00513-7)
- Žgajnar Gotvajn, A., y Pavko, A. (2015). Perspectives on biological treatment of sanitary landfill leachate. En M. Samer (Ed.), *Wastewater treatment engineering* (pp. 1–24). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/60924>



# Integración de catálisis enzimática y heterogénea en la obtención de surfactantes derivados de aminoácidos con actividad antimicrobiana.

Patricia Grillo<sup>a</sup>, Virginia Vetere<sup>b</sup>, M. Elisa Fait<sup>c</sup>, Melisa Hermet<sup>d</sup>, Sergio Laurella<sup>e</sup> y Susana R. Morcelle<sup>f\*</sup>.

<sup>a</sup>patriciagrillo@biol.unlp.edu.ar, CIPProVe (CICPBA-UNLP), La Plata.

<sup>b</sup>vetere@quimica.unlp.edu.ar, CINDECA (CONICET-UNLP- CICPBA), La Plata.

<sup>c</sup>fait.mariaelisa@biol.unlp.edu.ar, CIPProVe (CICPBA-UNLP), La Plata.

<sup>d</sup>hermet.melisa@biol.unlp.edu.ar, CIPProVe (CICPBA-UNLP), La Plata.

<sup>e</sup>sllaurella@quimica.unlp.edu.ar, CEDECOR (CICPBA-UNLP), La Plata.

<sup>f</sup>morcelle@biol.unlp.edu.ar, CIPProVe (CICPBA-UNLP), La Plata.

**Palabras clave:** biocatálisis; surfactantes derivados de aminoácidos; hidrogenólisis; antimicrobianos

## Resumen

En el marco de la catálisis ambiental y el desarrollo de procesos sostenibles, este trabajo aborda la obtención de tensioactivos derivados de aminoácidos mediante estrategias catalíticas combinadas, integrando catálisis enzimática y heterogénea. Estos compuestos, obtenidos a partir de materias primas renovables, constituyen alternativas a los surfactantes petroquímicos convencionales, con potencial aplicación en remediación de contaminantes y control microbiológico (Morán et al., 2004; Mnif & Ghribi, 2015).

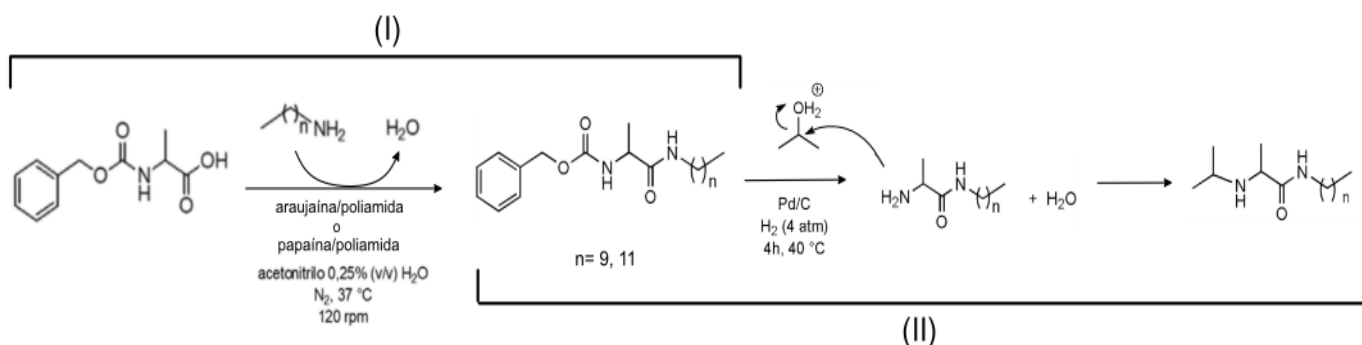
La síntesis se realizó en dos etapas (Figura.1). En la primera, se llevó a cabo una condensación enzimática entre N<sup>α</sup>-carbобензохи-L-alanina (Z-Ala-OH) y alquilaminas (decilamina y dodecilamina), utilizando biocatalizadores basados en proteasas vegetales (papaína y araujaína) inmovilizadas sobre poliamida. Las reacciones se desarrollaron a 37 °C en medio orgánico y atmósfera inerte, obteniéndose los intermediarios Z-Ala-NHC<sub>10</sub> y Z-Ala-NHC<sub>12</sub> con altos rendimientos. El biocatalizador basado en papaína mostró mayor eficiencia, alcanzando conversiones cercanas al 100 % para Z-Ala-NHC<sub>10</sub>.

En la segunda etapa, los intermediarios fueron sometidos a hidrogenólisis catalítica para eliminar el grupo carbобензохи. Se evaluaron catalizadores Pd/C y PdFe/C en condiciones moderadas (40 °C, 405 kPa de H<sub>2</sub>, 2-propanol). El sistema Pd/C mostró conversión completa en 4 h. Sin embargo, el análisis mediante RMN bidimensional y UPLC-MS reveló la formación de productos N<sup>α</sup>-isopropilo (iPr-Ala-NHCn), en lugar de los surfactantes catiónicos esperados, atribuida a la participación del solvente. El catalizador PdFe/C presentó menor actividad catalítica (Rojas et al., 2019).

Los compuestos obtenidos fueron evaluados por su actividad antimicrobiana (Tabla 1). Se observó actividad frente a *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, con concentración inhibitoria mínima (CIM) entre 125 y 250 μmol/L y concentración bactericida mínima (CBM) de hasta 500 μmol/L. No se detectó actividad frente a *Pseudomonas aeruginosa* PAO1. Estos resultados indican potencial uso como agentes activos para el control microbiológico en sistemas acuosos (Castillo et al., 2004; Olutas et al., 2022).

En conjunto, este trabajo demuestra que la combinación de catálisis enzimática y heterogénea es una estrategia viable para obtener compuestos funcionales de base biológica con potencial aplicación ambiental, destacando la necesidad de optimizar la selectividad en procesos catalíticos alineados con los principios de la química verde.





**Figura 1.** Esquema de la estrategia catalítica combinada: (I) condensación enzimática de Z-Ala-OH con alquilaminas (catálisis enzimática) y (II) hidrogenólisis catalítica (catálisis heterogénea) con formación de derivados N<sup>α</sup>-isopropilados.

**Tabla 1.** Actividad antimicrobiana de los surfactantes obtenidos. Las concentraciones (CIM y CBM) se expresan en  $\mu\text{mol/L}$ .

| Bacteria                                 | iPr-Ala-NHC <sub>10</sub> |      | iPr-Ala-NHC <sub>12</sub> |     |
|------------------------------------------|---------------------------|------|---------------------------|-----|
|                                          | CIM                       | CBM  | CIM                       | CBM |
| <i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC 6538) | 250                       | >500 | 125                       | 500 |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (PA01)     | -                         | -    | -                         | -   |

## Referencias

- Mnif, I., & Ghribi, D. (2015). Potential of bacterial derived biopolymer and biosurfactants in pharmaceutical and biomedical applications. *Biopolymers*, 85(4), 392–406.
- Morán, M. C., Pinazo, A., Pérez, L., Clapés, P., Angelet, M., García, M. T., & Infante, M. R. (2004). “Green” amino acid-based surfactants. *Green Chemistry*, 6(5), 233–240.
- Castillo, J. A., Pinazo, A., Carilla, J., Infante, M. R., Alsina, M. A., Haro, I., & Clapés, P. (2004). Interaction of antimicrobial arginine-based surfactants with liposomes and lipid monolayers. *Langmuir*, 20(8), 3379–3387.
- Rojas, A. H., Zendri, L. G., Lafuente, L., Ponzinibbio, A., & Vetere, V. (2019). Selective hydrogenation of carbohydrate derivatives using bimetallic catalysts. *ChemistrySelect*, 4(48), 14228–14232.
- Olutas, E. B., Kartal, N. B., & Yildirim, A. B. (2022). Antimicrobial activity of amino acid-based surfactants: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 367, 120528.





# **Influence of Ni incorporation into $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.1}\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_{3-\delta}$ non-stoichiometric perovskite catalysts in Chemical Looping Dry Reforming of simulated Biogas for the production of high-value syngas**

Carlos Méndez-A<sup>a</sup>, Oscar Medina<sup>b</sup>, Alexander Santamaría<sup>c,\*</sup>

<sup>a</sup>[calberto.mendez@udea.edu.co](mailto:calberto.mendez@udea.edu.co), Química de Recursos Energéticos y Medio Ambiente, Instituto de Química, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia (Colombia)

<sup>b</sup>[boemedinae@unal.edu.co](mailto:boemedinae@unal.edu.co), Grupo de Ciencia y Tecnología de Gases y Uso Racional de La Energía, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia (Colombia)

<sup>c</sup>[alexander.santamaria@udea.edu.co](mailto:alexander.santamaria@udea.edu.co), Química de Recursos Energéticos y Medio Ambiente, Instituto de Química, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia (Colombia)

**Keywords:** Biogas—Chemical Looping Dry Reforming (CLDR)—Syngas production—Perovskite catalysts

## **Abstract**

### **Introduction**

The increasing atmospheric accumulation of  $\text{CH}_4$  and  $\text{CO}_2$  has become a major environmental concern because of their strong contribution to global warming. At the same time, biogas—generated from landfills, wastewater treatment facilities, agriculture, and industrial residues—represents both an important source of uncontrolled greenhouse gas emissions and a renewable feedstock with valorization potential [1]. Although biogas is still commonly used for heat and power generation, this route produces additional  $\text{CO}_2$ , motivating the search for cleaner and higher-value conversion pathways.

Among the available alternatives, dry reforming of methane (DRM) has emerged as an attractive route for the simultaneous conversion of  $\text{CH}_4$  and  $\text{CO}_2$  into syngas with an  $\text{H}_2/\text{CO}$  ratio close to unity, making it suitable for the downstream synthesis of fuels and value-added chemicals [1,2]. However, DRM is a highly endothermic process that requires thermally robust catalysts, typically Ni-based systems, which are often limited by sintering and carbon deposition under reaction conditions. In this context, perovskite-type oxides have gained significant attention as promising catalytic materials, owing to their defect chemistry, high oxygen mobility, and tunable redox properties, all of which can enhance both catalytic activity and stability. In particular,  $\text{LaFeO}_3$ -based perovskites offer a versatile platform that can be tailored through partial substitution at the A-site (e.g, Sr incorporation) and modification of the B-site with transition metals [3]. However, the specific role of Mn in promoting long-term stability remains insufficiently explored. Likewise, chemical looping dry reforming (CLDR) has recently emerged as a novel strategy to integrate  $\text{CO}_2$  utilization with in-situ catalyst regeneration, potentially mitigating coke formation and improving process sustainability [3]. Nevertheless, its application to biogas reforming over perovskite-based systems remains largely unexplored. In parallel, systematic comparisons between different Ni incorporation strategies—such as structural doping versus post-synthesis impregnation—are still scarce, despite their critical influence on defect generation, metal exsolution behavior, and overall catalyst durability. In light these limitations, this work investigates the effect of low Ni loadings (5 wt.%) on  $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.1}\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_{3-\delta}$  ( $x=0$  or LSF and 0.25 or LSFM) perovskite-type materials synthesized by self-combustion and applied as catalysts in CLDR for the conversion of  $\text{CH}_4$  and  $\text{CO}_2$  into syngas. The study seeks to elucidate how Mn substitution and the Ni incorporation route affect catalytic performance, oxygen vacancy formation, and stability under cyclic operation.

### **Materials and methods**

Catalysts were prepared by self-combustion synthesis, using glycine as the ignition agent for the dissolution of the nitrate precursors, including the structural doping of Ni (e.g, LSF-Ni5), and by wet impregnation for



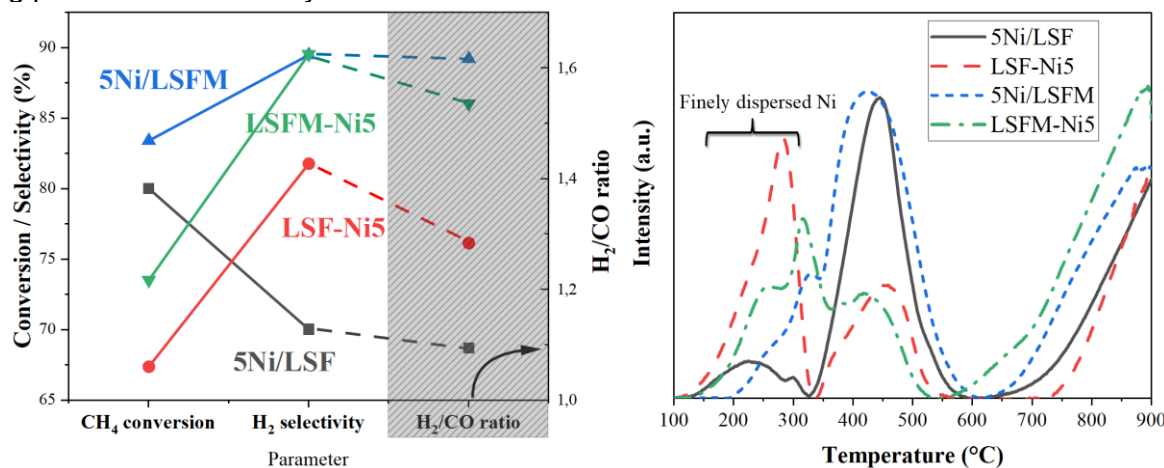
the supported Ni formulations (e.g., 5Ni/LSF). The resulting solids were characterized by XRD, TGA, temperature-programmed reduction ( $H_2$ -TPR), temperature-programmed desorption ( $H_2$ -TPD and  $O_2$ -TPD), XPS, Raman, and SEM.

CLDR was carried out in a fixed-bed reactor at atmospheric pressure and 900 °C, using a feed containing 20%  $CH_4$  and a  $CH_4/CO_2$  ratio of 1.8. The catalyst was regenerated with  $CO_2$  between cycles, and the results reported correspond to the fourth redox cycle quantified at 20 min.

## Results and discussion

All catalysts showed high activity under CLDR conditions, with performance primarily determined by the Ni incorporation route and the presence of Mn in the perovskite lattice. In both LSF-based and LSFM systems, impregnated catalysts consistently exhibited higher  $CH_4$  conversions than their structurally doped counterparts, indicating that the Ni dispersed on the surface provides more accessible active sites for methane activation. However, structural doping promoted greater dispersion of Ni species and the formation of oxygen vacancies, which is consistent with the low-temperature reduction characteristics observed in the  $H_2$ -TPR profiles and is reflected in improved selectivity towards  $H_2$  and synthesis gas [4,5].

The incorporation of Mn introduced a clear synergistic effect by improving oxygen mobility and redox flexibility, leading to both sustained reactivity and enhanced selectivity. In the Mn-containing (LSFM) systems, this effect reduced the selectivity difference between the doped and impregnated catalysts. However, the impregnated LSFM samples still showed better performance in terms of conversion, suggesting a more favorable balance between available metallic Ni sites and network oxygen participation [4,5]. Overall, while structural doping improves defect chemistry and selectivity through exsolution-driven dispersion, impregnation ensures higher activity due to greater Ni accessibility, with Mn playing a key role in stabilizing performance under cyclic CLDR conditions.



**Figure 1.** (left.) Catalytic performance in CLDR (right.)  $H_2$ -TPR profiles of perovskite catalysts.

## References

- A.M. Ranjekar, G.D. Yadav, *Journal of the Indian Chemical Society* 98 (2021) 100002
- M. Romy, D.P. Serrano, J.M. Escola, P. Pizarro, *Chemical Engineering Journal* 496 (2024) 154039.
- T. Dawa, B. Sajjadi, *Fuel Processing Technology* 253 (2024) 108022.
- Z. Sun, D.Y. Lu, R.T. Symonds, R.W. Hughes, *Chemical Engineering Journal* 401 (2020) 123481.
- Wei, T., Jia, L., Zheng, H., Chi, B., Pu, J., & Li, J. *Applied Catalysis A: General*, 564, 199-207



# Activación por reducción térmica de un catalizador obtenido a partir de arcilla roja natural y aplicación en reacción Fenton heterogénea

**Débora Belén Tagua<sup>a\*</sup>, Jorge Alberto González<sup>a</sup>, Bibiana Patricia Barbero<sup>a</sup>.**

<sup>a</sup> dbtagua@unsl.edu.ar, INTEQUI (UNSL, CONICET), San Luis, Argentina.

**Palabras clave:** Reducción con H<sub>2</sub>, Carborreducción, Oxidación avanzada, Herbicida 2,4-D.

## Resumen

El proceso Fenton heterogéneo usando catalizadores sólidos que contengan hierro ha sido propuesto como un método atractivo para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con compuestos orgánicos. En este sentido, el empleo de arcillas rojas naturales como materias primas de catalizadores heterogéneos representa una alternativa interesante debido al contenido intrínseco de hierro (Thomas, 2021). Sin embargo, en la arcilla en estado natural, el hierro se encuentra mayoritariamente como Fe<sup>3+</sup>, lo que limita la velocidad inicial de la reacción Fenton. En este trabajo, se presenta la obtención de catalizadores por activación de una arcilla roja natural mediante tratamientos térmicos en atmósferas reductoras. La actividad catalítica se evalúa en la degradación del herbicida 2,4-D en solución acuosa empleando H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (reacción Fenton).

La arcilla roja natural proviene de la provincia de San Luis, Argentina. La composición química es: 47,2% de SiO<sub>2</sub>, 16,9% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5,81% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 6,6% de CaO, 3,0% de MgO, 1,08% de Na<sub>2</sub>O y 7,97% de K<sub>2</sub>O, con una pérdida de masa por calcinación a 900°C del 11,9%. El análisis cristalográfico mediante DRX reveló una mezcla de minerales arcillosos (caolinita, illita y montmorillonita) junto a impurezas de cuarzo, feldespatos y calcita (Tagua, 2023). Para facilitar la manipulación de la arcilla, se preparó una pasta y se formaron pellets cilíndricos (12 mm de largo y 9 mm de diámetro). La activación por reducción se llevó a cabo siguiendo dos estrategias:

- Reducción con gas hidrógeno: Primero, el pellet se calcinó al aire (2°C min<sup>-1</sup>) hasta la temperatura final (500°C ó 600°C) y se mantuvo 30 minutos. Luego, se redujo en un reactor tubular bajo flujo de H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> (10%v/v) a 10°C min<sup>-1</sup> hasta 500°C ó 600°C, por 60 minutos. Los sólidos resultantes se denominaron P500RH2 y P600RH2.
- Reducción carbotérmica: El pellet se colocó en un crisol, se cubrió con carbón activado y se calcinó en una mufla a 500°C ó 600°C durante 30 minutos. Esta configuración produce una atmósfera reductora de CO generado *in situ* por la gasificación de carbón activado que actúa como lecho de sacrificio. Los catalizadores resultantes se nombraron P500RCA y P600RCA.

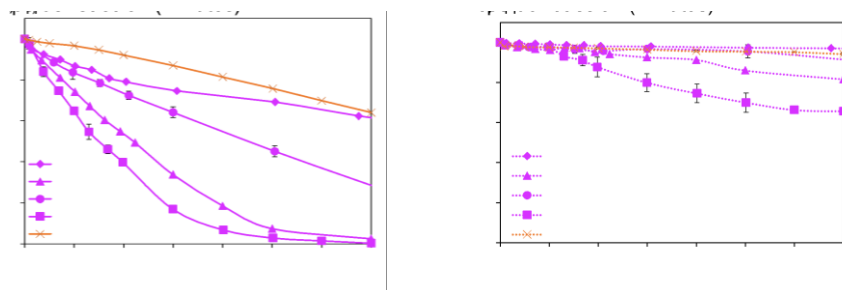
Para los ensayos catalíticos, los pellets se molieron y tamizaron (d<sub>p</sub> < 105 µm); luego, 0,5 g de sólido se dispersaron en 500 mL de una solución acuosa de 2,4-D (30 mg L<sup>-1</sup>). Se mantuvo el pH ≈ 3, la temperatura a 50 °C y se agregaron 0,3 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30%p/v. El avance de la reacción se evaluó midiendo la concentración residual de 2,4-D mediante espectroscopía UV a 290 nm y de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mediante el método colorimétrico del sulfato de titanilo, a distintos tiempos de reacción. El hierro lixiviado se midió mediante el método de la o-fenantrolina.

La caracterización de los sólidos permitió validar las transformaciones fisicoquímicas inducidas por los tratamientos. Las temperaturas de reducción se seleccionaron en base a resultados de reducción térmica programada de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, para asegurar la disponibilidad de fases de Fe<sup>2+</sup>, las cuales son catalíticamente más activas que Fe<sup>3+</sup>. La reducción a 500°C permitiría alcanzar la formación de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, mientras que la reducción a 600°C formaría FeO. Por su parte, los patrones de DRX corroboraron esta reducción, ya que se observaron las señales de magnetita y disminuyeron las de hematita. El análisis por Espectroscopía Infrarroja (FTIR) confirmó que las bandas vibracionales de la arcilla se mantienen tras la reducción térmica, particularmente la banda de deformación del grupo OH de la capa octaédrica a 915 cm<sup>-1</sup> y las bandas de



tensión Si-O a  $1030\text{ cm}^{-1}$ . La persistencia de estas señales demuestra que la estructura laminar de los filosilicatos no se destruye completamente, a pesar de la deshidroxilación parcial y el tratamiento reductor. Respecto a la textura, se registró una disminución del área superficial específica ( $S_{\text{BET}}$ ), pasando de  $44\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$  y  $36\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$  para los sólidos calcinados a  $500^\circ\text{C}$  y  $600^\circ\text{C}$ , respectivamente, a  $24\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$  para P500RH2 y  $21\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$  para P600RH2, fenómeno asociado a la sinterización de las láminas durante la exposición a atmósfera reductora.

En los ensayos catalíticos se observaron diferencias importantes según la temperatura de reducción (Figura 1). Las muestras reducidas a  $600^\circ\text{C}$  alcanzaron una remoción prácticamente total en 50 min de reacción, mientras que P500RH2 alcanzó 74% y P500RCA, 38%, en 70 min de reacción. Estas diferencias se deberían a la cantidad de  $\text{Fe}^{2+}$  presente en el sólido, y demuestran la importancia de la temperatura de reducción y la mayor efectividad del hidrógeno gaseoso frente a la reducción carbotérmica. La estabilidad química de los catalizadores se confirmó mediante la cuantificación de hierro lixiviado (Tabla 1). Teniendo en cuenta que una reacción control con  $0,5\text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Fe}^{2+}$  homogéneo no supera el 30% de remoción de 2,4-D, se puede confirmar que la degradación ocurre predominantemente mediante catálisis heterogénea. En conclusión, la activación de una arcilla roja natural mediante reducción térmica es un método apropiado para transformar el hierro presente en fases catalíticamente activas en reacción Fenton. La reducción con hidrógeno gaseoso es más eficaz que la reducción carbotérmica. Los catalizadores reducidos a  $600^\circ\text{C}$  fueron más activos que los reducidos a  $500^\circ\text{C}$ , lo que estaría relacionado con la cantidad de  $\text{Fe}^{2+}$  generado en el sólido. La simplicidad y el bajo costo de preparación de estos catalizadores validan su potencial para el desarrollo de procesos catalíticos heterogéneos sustentables.



**Tabla 1.** Hierro lixiviado.

| Catalizador | [Fe] ( $\text{mg L}^{-1}$ ) |
|-------------|-----------------------------|
| P500RCA     | 0,11                        |
| P600RCA     | 0,13                        |
| P500RH2     | 0,02                        |
| P600RH2     | 0,11                        |

**Figura 1.** Concentración relativa de 2,4-D (izquierda) y  $\text{H}_2\text{O}_2$  (derecha).

## Referencias:

Thomas, N., Dionysiou, D. D., & Pillai, S. C. (2021). *Journal of Hazardous Materials*, 404, 124082. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124082>

Tagua, D. B, González, J. A., & Barbero, B. P. (2023). *Actas del XXIII Congreso Argentino de Catálisis y XI Congreso de Catálisis del Mercosur*. Salta, Argentina.





## Películas nanoestructuradas de óxidos de hierro sobre lana de acero: aplicación en microrreactores para la reacción de oxidación de CO.

Mayra Alejandra Franco Murcia<sup>a\*</sup>, María Alicia Ulla<sup>a</sup>, Juan Manuel Zamara<sup>a</sup>.

<sup>a</sup> [mafrancomurcia@fiq.unl.edu.ar](mailto:mafrancomurcia@fiq.unl.edu.ar), Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE), Santa Fe, Argentina.

**Palabras clave:** Película catalítica, óxidos de hierro, microrreactores, oxidación de CO

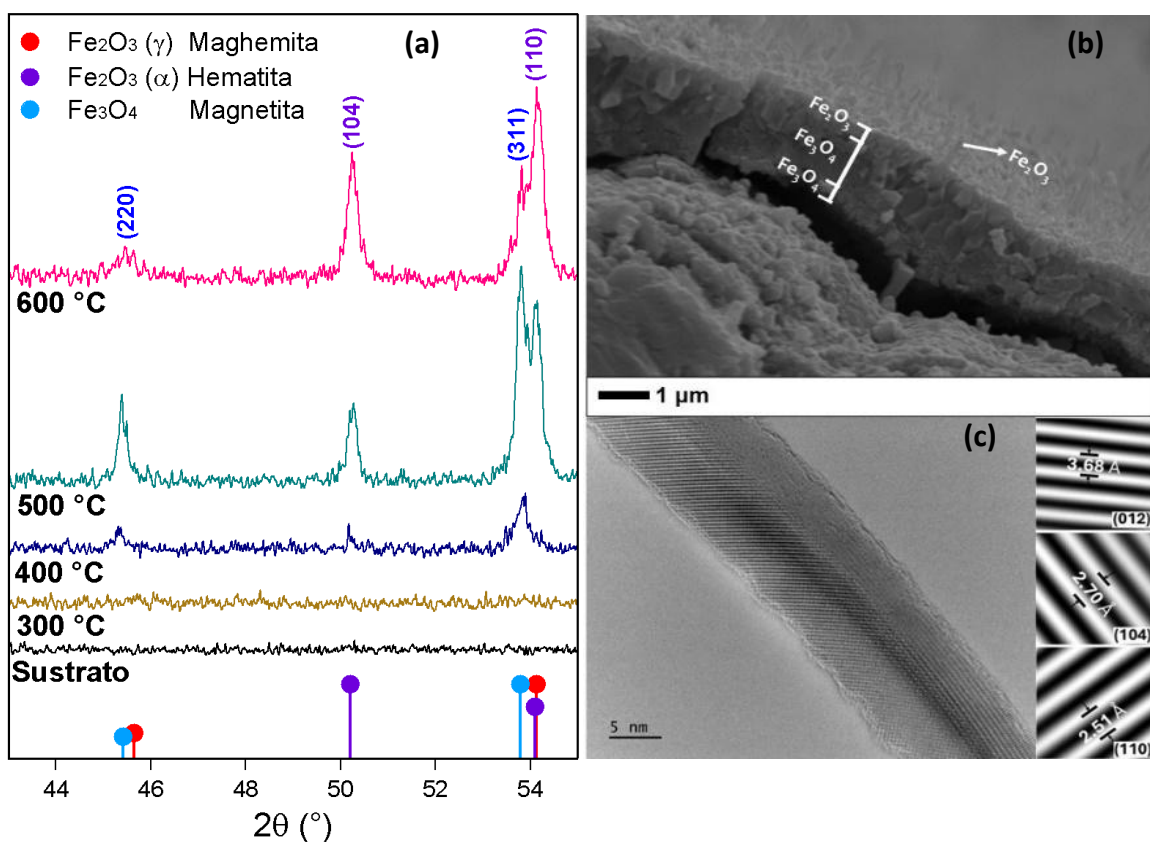
### Resumen

Se han podido comprobar mejoras del desempeño catalítico en la reacción de oxidación de CO al utilizar microrreactores basados en películas de óxidos, sobre diversos sustratos metálicos (Cabello et al., 2019, 2022, 2023). En dicho contexto, el presente estudio se focaliza en el desarrollo de películas nanoestructuradas de óxidos de hierro mediante crecimiento in-situ sobre una lana de acero comercial. Dichas películas se obtuvieron mediante oxidación controlada en mufla y se analizó su estructura/composición con el incremento en la temperatura (300-600 °C) y tiempo de tratamiento (1-240 min).

Mediante estudios de XRD (Fig. 1a) se confirmó el crecimiento y evolución de hematita ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), maghemita ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) y magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), mientras que en ninguna de las películas se evidenció wüstita ( $\text{FeO}$ ). La señal del sustrato ( $\text{Fe}^0$ ) fue intensa, en línea con la formación de una delgada película de óxidos. Un tratamiento a 300 °C no generó óxido a nivel bulk, mientras que a 400 °C se formó mayormente maghemita y magnetita. A partir de los 500 °C se intensificaron las señales de todas las fases de óxidos, resaltando la evolución de hematita y un incremento en la proporción de magnetita. En tanto, a 600 °C se incrementó significativamente la proporción de hematita a expensas de una disminución de magnetita, mientras que desapareció la maghemita. Tratamientos a 600 °C por diferentes tiempos no mostraron variaciones significativas en las proporciones de hematita y magnetita, lo cual señala que dicha proporción de fases se definen en la rampa de calentamiento. El tiempo de tratamiento sólo modificó el espesor global de la capa de óxido. Esto último, se confirmó mediante observaciones por SEM en donde se apreciaron capas densas y porosa de óxido, con un aumento progresivo del espesor de la película desde 2,0  $\mu\text{m}$  (1 min) hasta 6,7  $\mu\text{m}$  (240 min). Las imágenes (Fig. 1b), revelaron una estratificación de la película: una capa inferior compacta con morfología granular sobre la cual se desarrolló una capa más gruesa con una estructura columnar, ambas asociadas a magnetita. En la superficie, se desarrolló una capa delgada ( $\sim 0,3 \mu\text{m}$ ) correspondiente a hematita, sobre la que crecieron estructuras en forma de nano-agujas. Estas últimas se analizaron por HRTEM (Fig. 1c), confirmando que son de hematita, evidenciándose los planos cristalinos (012), (104) y (110). El sistema obtenido con un tratamiento a 600 °C por 1 min resultó de interés debido al destacado desempeño catalítico que exhibió en la oxidación de CO.

Dado los resultados anteriores, se efectuaron estudios sobre lana de acero de hebras más finas. En este caso, la película de óxido desarrollada presentó una mayor proporción de magnetita y se confirmó un crecimiento preferencial del plano (110) de la fase superficial de hematita, en comparación con el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en polvo. El microrreactor ensamblado con el sistema de hebras finas presentó valores de  $T^{10}$ ,  $T^{50}$  y  $T^{95}$  de 89 °C, 139 °C y 216 °C respectivamente, manteniendo además actividad y estabilidad en el tiempo (50 h). El destacado desempeño de este sistema en comparación con catalizadores de hematita en polvo, se debe a la alta superficie geométrica expuesta de la capa superficial de hematita orientada, en contacto con la corriente de reactivos. Este resultado destaca el potencial de este sistema como plataforma para el desarrollo de microrreactores de bajo costo y obtenidos a través de un método simple.





**Figura 1. a)** Patrones de XRD de óxidos obtenidos sobre sustratos de lana de acero de hebra gruesa (300- 600 °C) a 240 min; **b)** Imagen SEM de película de óxido crecida en la hebra; **c)** Imagen TEM de nano- agujas de hematita crecidas en la superficie más externa de la película de óxido.

## Referencias:

- Cabello, A. P., Ulla, M. A., & Zamaro, J. M. (2019). Topics in Catalysis, 62, 931–940.  
<https://doi.org/10.1007/s11244-019-01178-x>
- Cabello, A. P., Ulla, M. A., & Zamaro, J. M. (2022). Journal of Materials Science, 57, 12797–12809.  
<https://doi.org/10.1007/s10853-022-07391-6>
- Cabello, A. P., Franco, M. A., Ulla, M. A., & Zamaro, J. M. (2023). Catalysts, 13, 932.  
<https://doi.org/10.3390/catal13060932>



## Biocarbón poroso útil como soporte de óxido de zinc modificado con hierro en la foto-mitigación de paracetamol

Sergio Garzón<sup>a\*</sup>, Luis C. Moreno<sup>b</sup>, Eduard Romero-Malagón<sup>c</sup>, Yazmin Agámez-Pertuz<sup>d a</sup>

<sup>a</sup> [segarzonb@unal.edu.co](mailto:segarzonb@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.

<sup>b</sup> [lcmorenoa@unal.edu.co](mailto:lcmorenoa@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.

<sup>c</sup> [erromerom@unal.edu.co](mailto:erromerom@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.

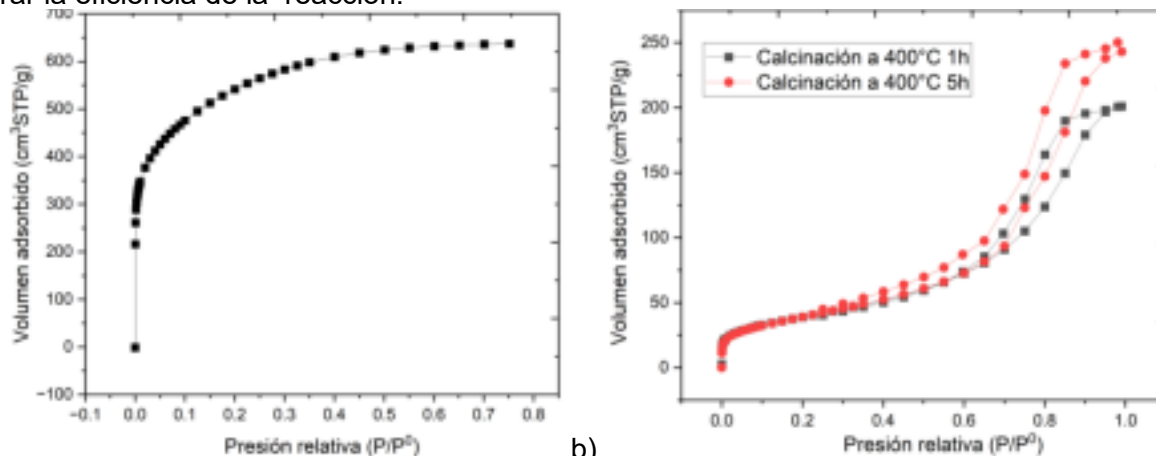
<sup>d</sup> [yyagamezp@unal.edu.co](mailto:yyagamezp@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.

**Palabras clave:** Biomasa de tusa de maíz, biocarbón, contaminante emergente, paracetamol.

### Resumen

El uso indiscriminado de compuestos orgánicos como los analgésicos representan un problema ambiental emergente debido a que no se metaboliza completamente en el cuerpo humano y por tanto se excreta hacia las aguas residuales. Esto genera toxicidad en ambientes acuáticos y bioacumulación debido a que son difíciles de eliminar mediante métodos convencionales. Una alternativa para su degradación es la oxidación fotocatalítica usando biocarbón poroso como soporte de óxidos de zinc modificado con hierro por sus propiedades claves para inducir mineralización. En el presente trabajo se prepararon fotocatalizadores sobre biomateriales porosos/magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) valorizando tusa de maíz, se caracterizaron en su morfología por SEM-EDX y fisisorción de nitrógeno a 77 K, en su estructura química por FTIR y estabilidad térmica por TGA. La magnetita se sintetizó por co-precipitación de cloruros de hierro, mientras que los fotocatalizadores se prepararon mediante impregnación incipiente y posterior calcinación. Los materiales fueron evaluados mediante la degradación de paracetamol a pH 7, monitoreando la concentración por HPLC-DAD durante 7,75 horas para analizar la cinética del proceso.

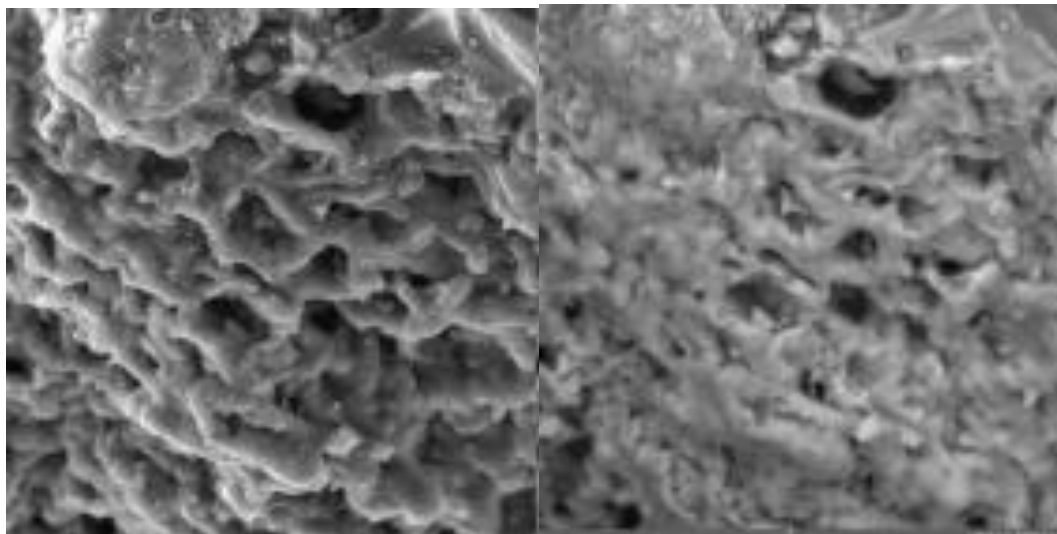
El análisis textural de los sólidos correspondiente a la magnetita de la **Figura 1** muestra que la forma de la isoterma es de tipo IV con una histéresis H1 según la IUPAC; además, la magnitud del área superficial es independiente con el incremento del tiempo de residencia (de 1 y 5 h) del tratamiento térmico presentando un área superficial BET ( $S_{\text{BET}}$ ) de  $168 \text{ m}^2/\text{g}$  para el  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  crudo y de alrededor de los  $141 \text{ m}^2/\text{g}$  y una distribución de tamaño de poro, BJH, con un diámetro de poro de  $6.5 \text{ nm}$  para la magnetita sin calcinar y de  $7.0 \text{ nm}$  para la calcinada por 1 o 5 h. El biocarbón poroso contribuye al soporte con un  $S_{\text{BET}}$  de  $1950 \text{ m}^2/\text{g}$  garantizando la accesibilidad del contaminante y de los productos de mineralización, lo cual permite mejorar la eficiencia de la reacción.



a) Isotermas de adsorción de  $\text{N}_2$  a 77K de a) Biocarbón poroso a partir de tusa de maíz b) Magnetitas sintetizadas y calcinadas. **Figura 1.**



Las micrografías SEM-EDX de la **Figura 2**, muestran la superficie con fracciones rugosas y lisas con una microestructura interconectada y entrelazada del biocarbón característica del material de partida; la micrografía del compuesto híbrido biocarbón/magnetita pone en evidencia la homogeneidad del biocarbón magnético, lo cual favorece el proceso de recuperación del fotocatalizador desde el sistema de reacción para su posterior regeneración.



**Figura 2.** Imágenes SEM del biocarbón poroso modificado con magnetita.

Para corroborar la formación de la magnetita por coprecipitación se realizó el análisis por FT-IR observando una banda en  $3290\text{ cm}^{-1}$  que corresponde al estiramiento de O-H en ( $\alpha\text{-FeO(OH)}$ ) y agua y la serie de bandas entre  $1100$  y  $1650\text{ cm}^{-1}$  correspondientes a interacciones entre los iones del metal ( $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ ) y el grupo hidroxilo. La banda entre  $800$  y  $1080\text{ cm}^{-1}$  es ancha en la magnetita sin calcinar y a medida que aumenta el tiempo de calentamiento a  $400^\circ\text{C}$  se hace menos-intensa.

## Referencias:

- Hernández, J., et al. (2012). *Advances in Science and Engineering*, 3(2), 25–34. Jallouli, N., et al. (2017). *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S3640–S3645. Milao, T. M., et al. (2012). *Science of Advanced Materials*, 4, 54–60.





## Catalizadores de ZnO derivados de baterías recicladas empleados en la valorización de glicerol

Misael Cordoba Arroyo<sup>a\*</sup>, Madelain Linero Diaz<sup>a</sup>, Manuela Cardenas<sup>a</sup>, Erasmo Arriola-Villaseñor <sup>a</sup>, Pedro Delvasto<sup>b</sup>, Alba N. Ardila A<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Grupo de Investigación en Catálisis Ambiental y Energías Renovables, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín

<sup>b</sup> Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga

Email: [\\*misaelcordoba@elpoli.edu.co](mailto:misaelcordoba@elpoli.edu.co)

**Palabras clave:** valorización, residuos, baterías recicladas, glicerol, ZnO

### Resumen

La producción de biodiésel por transesterificación catalítica genera glicerol como subproducto (~10 % p/p), cuyo excedente representa un reto ambiental y económico debido a su baja valorización. La conversión de glicerol en carbonato de glicerol (CG) constituye una alternativa de alto valor debido a sus aplicaciones en polímeros, solventes verdes y lubricantes (Inrirai et al., 2024). Entre las rutas disponibles, la carbonilación con urea destaca por su viabilidad económica condiciones de operación moderadas y la ausencia de reactivos tóxicos (Wang & Ma, 2024). Los materiales de ZnO se han caracterizado por su alta actividad en esta reacción. Estos materiales pueden obtenerse mediante el reciclaje de baterías alcalinas, lo que promueve la economía circular (Yadav et al., 2023). En este estudio, se emplearon catalizadores de ZnO obtenidos a partir de baterías alcalinas para valorizar el glicerol mediante la producción de carbonato de glicerol.

### Sección Experimental

Los materiales de ZnO se obtuvieron a partir del ánodo de baterías alcalinas mediante un proceso directo sin lixiviación química, con el objetivo de simplificar la síntesis y reducir el uso de reactivos. Los sólidos se calcinaron a 500 y 600 °C; estos materiales fueron denominados ZnO\_Cat500 y ZnO\_Cat600, respectivamente. Además, como referencia se empleó un ZnO comercial (ZnO\_comer). Los materiales fueron caracterizados mediante técnicas como difracción de rayos X (DRX), FTIR-ATR con adsorción de etanol como molécula sonda, espectroscopía de absorción atómica (AAS) y fisisorción de N<sub>2</sub> (S<sub>BET</sub>). La reacción de carbonilación de glicerol con urea se llevó a cabo en un reactor discontinuo bajo atmósfera de N<sub>2</sub>, con relación molar glicerol:urea de 1:1, relación sustrato/catalizador de 40,5, a 140 °C y 750 rpm durante 6 h. Los productos se cuantificaron mediante cromatografía de gases (GC-FID), lo que permitió determinar la conversión, la selectividad y la velocidad inicial de reacción.

### Discusión y Resultados

El análisis por DRX evidenció que todos los materiales presentan la estructura cristalina tipo wurtzita característica del ZnO, comparable a la del catalizador comercial, lo que confirma la formación efectiva de la fase activa a partir de residuos reciclados (**Figura 1a**). Sin embargo, las áreas superficiales obtenidas (1,5–16,5 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) no mostraron una correlación directa con la actividad catalítica, lo que descarta limitaciones texturales y evidencia que el desempeño catalítico está dominado principalmente por la naturaleza de los sitios activos. Los estudios FTIR-ATR confirmaron la presencia de sitios ácido-base, fundamentales para el mecanismo de reacción. En este sistema, los sitios básicos (O<sup>2-</sup>) favorecen la desprotonación del glicerol como se observó en el análisis IR, mientras que los sitios ácidos de Lewis (Zn<sup>2+</sup>) activan el grupo carbonilo de la urea, lo que promueve la formación de intermediarios reactivos.







**Tabla 1.** Propiedades fisicoquímicas de las muestras sintetizadas.

| Muestra    | Área superficial<br>BET (m <sup>2</sup> /g) | Volumen Poro<br>BHJ (cm <sup>3</sup> /g) | Diámetro Poro BHJ<br>(nm) | Mn %w/w | Zn %w/w | Band Gap<br>(eV) |
|------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------|---------|---------|------------------|
| Mn1-K2     | 179.92                                      | 0.607                                    | 12.30                     | 43.86   | 0.14    | 2.44             |
| Mn1-K2-16h | 225.24                                      | 0.776                                    | 13.02                     | 45.34   | 0.15    | 2.30             |
| Mn1-K2-140 | 131.81                                      | 0.376                                    | 9.91                      | 46.64   | 0.16    | 2.70             |
| Mn-Bs-140  | 27.50                                       | 0.059                                    | 7.72                      | 50.23   | 0.15    | 3.20             |
| Mn1-K1-140 | 44.05                                       | 0.123                                    | 10.81                     | 51.07   | 0.28    | 3.30             |

El desempeño fotocatalítico mostró dependencia del pH, la cantidad de fotocatalizador y la naturaleza del colorante. En medio ácido (pH  $\approx$  3) se alcanzaron las mayores eficiencias de remoción, superando el 90 % para amarillo 145 en varios sistemas, mientras que en condiciones básicas el porcentaje de degradación disminuyó en la mayoría de los casos. Incrementar la masa de fotocatalizador favorece la remoción debido al aumento de sitios activos; sin embargo, un exceso puede causar dispersión de luz o aglomeración de partículas. Para el colorante rojo 250, se evidenció un comportamiento más favorable en comparación con el amarillo 145, alcanzando eficiencias cercanas o iguales al 100 % en varios sistemas, independientemente de la cantidad de catalizador o del pH. Actualmente, el estudio se complementa con análisis de DBO<sub>5</sub>, DQO y COT; los cuales permitirán establecer si la degradación observada corresponde únicamente a la transformación de los colorantes en compuestos intermedios o si, por el contrario, se logra su mineralización completa hacia especies inorgánicas más estables. Adicionalmente, se están evaluando diferentes condiciones experimentales, con el fin de estudiar la cinética del proceso y profundizar en la identificación de posibles rutas de degradación.

Las baterías alcalinas constituyen una fuente viable para la obtención de óxidos de manganeso, siendo la síntesis hidrotérmica una ruta adecuada que permite controlar la morfología y las propiedades fisicoquímicas de los materiales. Los MnOx obtenidos muestran potencial en degradación fotocatalítica, especialmente en condiciones ácidas. Actualmente, se están realizando análisis de DBO<sub>5</sub>, DQO y COT, por lo que aún no es posible establecer si la remoción corresponde a degradación o mineralización.

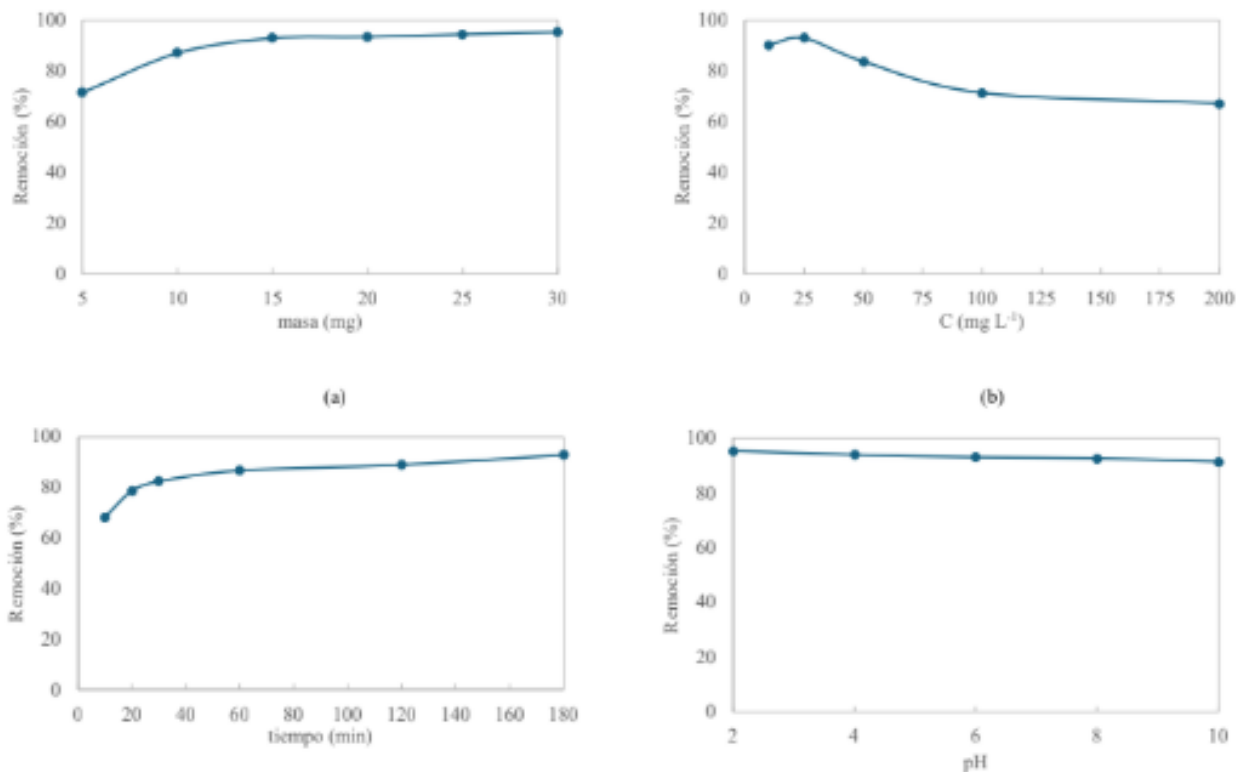
## Referencias

- Chellappa, V., Meenakshisundaram, N., Annaraj, J., & Sagadevan, S. (2024). Hydrothermal synthesis of MnO<sub>2</sub> nanorods for efficient electrochemical detection of environmental anthropogenic pollutants and nitrobenzene. *Inorganic Chemistry Communications*, 160(September 2023), 112015. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.112015>
- García, N. M., Delgado Cano, B., Valverde, J. L., Heitz, M., & Avalos Ramirez, A. (2024). Extraction and separation of potassium, zinc and manganese issued from spent alkaline batteries by a three-unit hydrometallurgical process. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 99(7), 1553–1563. <https://doi.org/10.1002/jctb.7649>
- Lu, M., Ma, Y., Li, D., Jiang, M., & Yu, C. (2023). Hydrothermal Synthesis of MnO<sub>2</sub> Microspheres and Their Degradation of Toluene. *ACS Omega*, 8(51), 49150–49157. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c07306>









**Figura 1.** Efecto de (a) masa de adsorbente, (b) concentración inicial, (c) tiempo y (d) pH en la eliminación de imidacloprid (%).

## Referencias:

- [1] Aparicio, V., & De Gerónimo, E. (2024). Pesticide pollution in argentine drinking water: A call to ensure safe access. *Environmental Challenges*, 14, 100808. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100808>
- [2] Srikhaow, A., Chaengsawang, W., Kiatsiriroat, T., Kajitvichyanukul, P., & Smith, S. M. (2022). Adsorption Kinetics of Imidacloprid, Acetamiprid and Methomyl Pesticides in Aqueous Solution onto Eucalyptus Woodchip Derived Biochar. *Minerals*, 12(5), 528. <https://doi.org/10.3390/min12050528>
- [3] Ma, Y., Qi, Y., Yang, L., Wu, L., Li, P., Gao, F., Qi, X., & Zhang, Z. (2021). Adsorptive removal of imidacloprid by potassium hydroxide activated magnetic sugarcane bagasse biochar: Adsorption efficiency, mechanism and regeneration. *Journal of Cleaner Production*, 292, 126005. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126005>



## Síntesis y evaluación fotocatalítica de ZnO para la degradación de contaminantes emergentes.

Camila Llulia Torres Pons<sup>\*ab</sup>, Paola María Carraro<sup>ab</sup>, Griselda Alejandra Eimer<sup>ab</sup> y Tamara Belén Benzaquen<sup>ab</sup>.

<sup>\*</sup>camilatorres239@gmail.com

<sup>a</sup> Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

<sup>b</sup> Centro de Investigación y Tecnología Química, Universidad Tecnológica Nacional, CONICET, FRC, Córdoba, Argentina.

**Palabras clave:** disruptores endócrinos, estructuras mesoporosas, óxido de zinc.

### Resumen

La contaminación hídrica por disruptores endocrinos (DEs) representa un desafío crítico debido a su alta estabilidad química y resistencia a los tratamientos biológicos convencionales. A diferencia de otros semiconductores, la fotocatalisis heterogénea con óxido de zinc (ZnO) se presenta como una alternativa en términos de eficiencia y capacidad fotocatalítica con respecto a la degradación de compuestos orgánicos recalcitrantes (Mao et al., 2022). El objetivo de este trabajo fue sintetizar, caracterizar y evaluar la capacidad de degradación de ZnO mesoporoso sobre tres DEs de distinto origen: Bisfenol A (BPA), derivado plástico, Ácido Clofibrato (AC), principal metabolito de fármacos reguladores de lípidos y Atrazina (ATZ), herbicida de amplio espectro; tanto en sistemas individuales como en mezcla.

El ZnO mesoporoso se sintetizó mediante el método de sol-gel empleando como surfactante Pluronic P123, ácido cítrico como agente quelante y ZnCl como fuente de metal. Tras un período de envejecimiento de 72 h, el material fue calcinado a 450 °C para consolidar la fase cristalina.

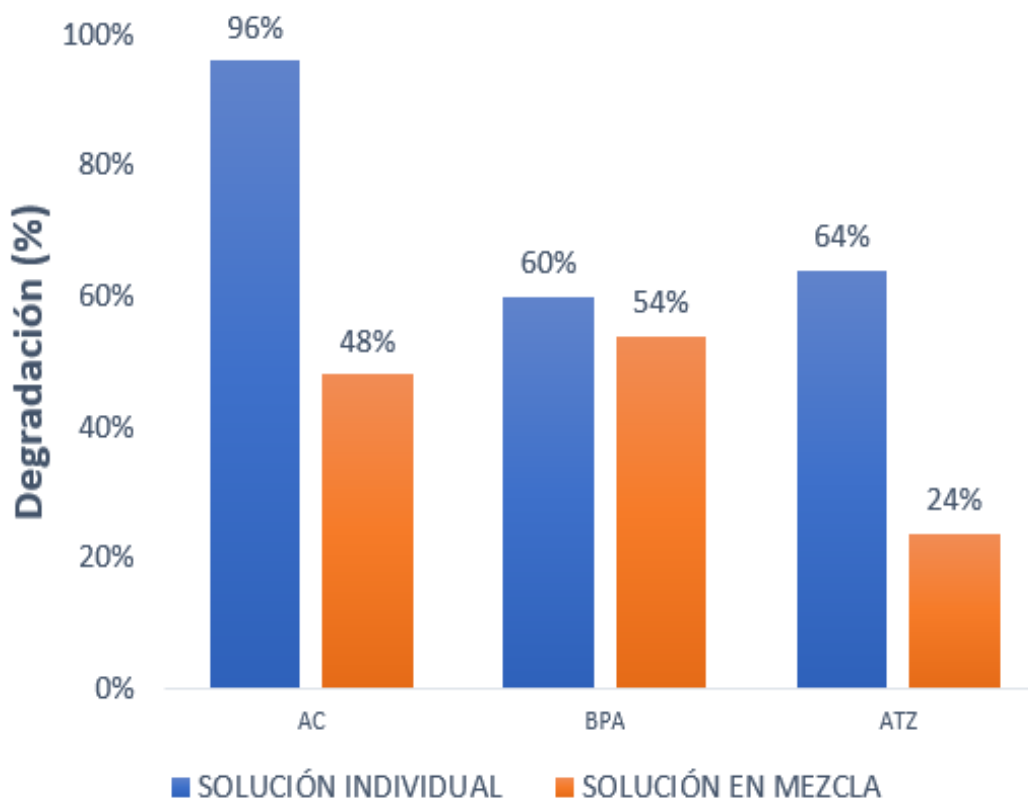
Se emplearon diferentes técnicas de caracterización para evaluar las propiedades fisicoquímicas del sólido obtenido.

El análisis de difracción de rayos X (DRX) permitió determinar la estructura hexagonal policristalina del ZnO puro, con sus picos de difracción específicos a 31,92°, 34,57°, 36,41°, 47,68°, 56,71°, 62,99° y 68,05°, correspondientes a los planos (100), (002), (101), (102), (110), (103) y (112) según el archivo JCPDS número 800075. Se estudiaron las bandas características del material mediante espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR). Las bandas a 446 cm<sup>-1</sup> y 535 cm<sup>-1</sup> corresponden al estiramiento del enlace Zn-O. Las señales en la región de 1550 cm<sup>-1</sup> se asocian al estiramiento C-O de carbonatos adsorbidos, mientras que la banda a 3497 cm<sup>-1</sup> se atribuye a grupos O-H del agua adsorbida en superficie. El análisis textural (por fisisorción de N<sub>2</sub>) arrojó un área superficial específica relativamente baja, de 15 m<sup>2</sup>/g. Se realizó UV-vis de sólidos al óxido sintetizado; el valor de band gap obtenido mediante el gráfico de Tauc fue de 3,23 eV, valor que se encuentra dentro del rango esperado para el ZnO.

Los experimentos de degradación se realizaron con un fotorreactor discontinuo, bajo agitación, irradiado superiormente con una lámpara LED UV/Vis (390 nm) de 30 W; a un pH neutro y temperatura ambiente. La concentración de material utilizada fue de 1 mg/mL en una solución de 30 ppm de cada contaminante y en una solución con la presencia de los tres simultáneamente. Inicialmente, la reacción comenzó en condiciones de oscuridad para alcanzar el equilibrio de adsorción/desorción, y luego se expuso a la luz durante 3 h. El período en oscuridad mostró una baja interacción superficial entre el ZnO mesoporoso y los contaminantes con remociones inferiores al 10%, en todos los casos. Sin embargo, bajo irradiación, en los ensayos individuales, el ZnO mesoporoso demostró alta actividad fotocatalítica (Figura 1). En la mezcla, la



competencia por sitios activos redujo la eficiencia del AC a la mitad y la de la ATZ casi tres veces, mientras que el BPA no presentó variaciones significativas con respecto a su valor individual.



**Figura 1.** Degradación de DEs en soluciones individuales y en mezcla.

Se obtuvo óxido de zinc capaz de generar especies oxidantes bajo irradiación LED. En mezcla, se observó un efecto de competencia por los sitios activos, con una marcada selectividad hacia el BPA en comparación con el AC y la ATZ. Así, el material sintetizado asegura una degradación efectiva de estos contaminantes, siendo capaz de actuar como potencial fotocatalizador incluso en mezclas complejas.

## Referencias

Mao, T., Mengchen, L., Lin, L., Cheng, Y. & Fang, C. (2022). A Study on Doping and Compound of Zinc Oxide Photocatalysts. *Polymers*, 14, 4484. <https://doi.org/10.3390/polym14214484>





## ***De residuo a catalizador: biocarbones modificados con Cu para la degradación reductiva de colorantes azoicos***

**Dainy Marcos<sup>a</sup>, Federico Belén<sup>b</sup>, Marcelo F. Pistonesi<sup>c</sup>, Angel J. Satti<sup>d</sup> y Mariana Alvarez<sup>e</sup>**

<sup>a</sup> *dainy.marcos@uns.edu.ar, INQUISUR (CONICET-UNS), Bahía Blanca.*

<sup>b</sup> *federico.belen@uns.edu.ar, INQUISUR (CONICET-UNS), Bahía Blanca.*

<sup>c</sup> *mpistone@criba.edu.ar, INQUISUR (CONICET-UNS), Bahía Blanca.*

<sup>d</sup> *angel.satti@uns.edu.ar, INQUISUR (CONICET-UNS), Bahía Blanca.*

<sup>e</sup> *alvarezm@criba.edu.ar, INQUISUR (CONICET-UNS), Bahía Blanca.*

**Palabras clave:** Biocarbones, irradiación gamma, colorantes azoicos, reducción catalítica.

### **Resumen**

La biomasa lignocelulósica residual representa un recurso frecuentemente desaprovechado, que puede ser valorizado mediante procesos termoquímicos como la pirólisis, dando lugar a biocarbones (BCs) con propiedades adecuadas para diversas aplicaciones tecnológicas. Estos materiales pueden ser modificados durante o después de su síntesis y empleados como soportes de catalizadores metálicos en procesos de remediación de aguas (Yang et al., 2022). En este trabajo se estudia el uso de un biocarbón modificado con cobre, como catalizador en la reducción en fase acuosa de colorantes azoicos modelo, anaranjado de metilo (AM) y rojo Congo (RC), tanto de manera individual como en una mezcla binaria. Asimismo, se desarrolla un modelo analítico basado en regresión multivariada que permite la determinación simultánea de ambos colorantes en sistemas multicomponente, resolviendo la superposición espectral presente en la mezcla.

A partir de un BC obtenido por pirólisis de residuos de poda se preparó el catalizador metálico BC/Cu mediante una adaptación del método de impregnación hidrotermal reportado por Vinayagam (2018), utilizando una solución de  $\text{CuSO}_4$  al 10 % m/v. El contenido de cobre en el catalizador determinado por Espectroscopía de Absorción Atómica fue de 5,92%. El análisis por difracción de rayos X evidenció la presencia de señales correspondientes al soporte carbonoso en el rango de  $10\text{--}30^\circ$  de  $2\theta$ , junto con picos atribuibles a distintos planos cristalinos de  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Por su parte, los espectros FTIR de BC y BC/Cu mostraron bandas asociadas principalmente a estructuras aromáticas, mientras que en el catalizador modificado se identificó una banda en el intervalo  $600\text{--}615\text{ cm}^{-1}$ , atribuida a la vibración asimétrica  $\text{O--Cu--O}$ . Las imágenes SEM del catalizador revelaron la presencia de pequeños cristales octaédricos, que fueron identificados y asignados a la especie  $\text{Cu}_2\text{O}$ , siendo estos resultados coincidentes con los obtenidos por DRX.

Se evaluó la actividad catalítica del material en la reducción de soluciones de colorantes azoicos AM y RC con  $\text{NaBH}_4$ , utilizando espectrofotometría UV-Vis ( $\lambda = 200 - 600\text{ nm}$ ) y optimizando las condiciones de reacción. También se analizó la degradación de una mezcla AM:RC en una relación en volumen 1:1. En las experiencias control se constató que la degradación de ambos colorantes no ocurre en ausencia de catalizador durante el período de estudio. Al agregar el catalizador, se observó una marcada disminución en la intensidad de las bandas de absorción características asociadas al grupo azoico hasta su desaparición completa, junto con la aparición de nuevas bandas de absorción electrónica en longitudes de onda más cortas, debido a la formación de productos de reducción. Los resultados cinéticos evidenciaron una alta actividad del catalizador BC/Cu, logrando la decoloración completa de AM, RC y su mezcla en 2,5, 11 y 5,0 min, respectivamente.



Teniendo en cuenta que la reacción de reducción catalítica sigue una cinética de pseudo-primer orden, se determinaron las constantes aparentes de velocidad según  $\ln \ln \left( \frac{C_t}{C_0} \right) = -k_{app}t$  para los colorantes de manera individual. Para el análisis de la mezcla, se evaluaron modelos de calibración multivariada basados en regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS) y en el algoritmo de proyecciones sucesivas en intervalos acoplado a PLS (iSPA-PLS), lo que permitió resolver la superposición espectral y cuantificar simultáneamente ambos colorantes. Entre los modelos ensayados, iSPA-PLS presentó el mejor desempeño en términos de capacidad predictiva, evidenciando su robustez frente a la complejidad del sistema multicomponente. En función de los resultados obtenidos, se determinó el valor de  $k_{app}$  asociada a la reducción catalítica de cada colorante en la mezcla. En todas las experiencias de degradación se observó un período de inducción donde la concentración del colorante se mantiene prácticamente invariable o disminuye con una pendiente diferente a la que se corresponde con el fenómeno de reducción. Sin embargo, el tiempo de inducción del colorante RC en la mezcla disminuyó significativamente respecto a su tratamiento de forma individual (Tabla 1), evidenciando un potencial efecto sinérgico en el que la presencia simultánea de ambos compuestos favorecería su reducción de forma cooperativa. En conjunto, el sistema desarrollado combina alta eficiencia catalítica con una estrategia analítica robusta, aportando una solución integral para la degradación y el estudio de colorantes azoicos en matrices complejas.

**Tabla 1.** Parámetros catalíticos para las experiencias de degradación.

|                    | $t_1$ (min) <sup>a</sup> | $k_i$ (min <sup>-1</sup> ) | $t_2$ (min) <sup>b</sup> | $k_{app}$ (min <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| <b>AM</b>          | <b>1,5</b>               | <b>0,4082</b>              | <b>2,5</b>               | <b>3,9052</b>                  |
| <b>RC</b>          | <b>6,5</b>               | <b>0,0402</b>              | <b>11,0</b>              | <b>0,5951</b>                  |
| <b>AM – Mezcla</b> | <b>2,5</b>               | <b>0,1231</b>              | <b>5,0</b>               | <b>0,7494</b>                  |
| <b>RC – Mezcla</b> | <b>2,5</b>               | <b>0,1561</b>              | <b>5,0</b>               | <b>0,6147</b>                  |

<sup>a</sup> Tiempo de inducción inicial.

<sup>b</sup> Tiempo necesario para la desaparición completa de la banda asociada al grupo azo.

## Referencias:

- Yang B., Dai J., Zhao Y., Wu J., Zhang Y. (2022) *Biochar*, 4, 51. <https://doi.org/10.1007/s42773-022-00169-8>
- Xu Z., Chen L., Zhou B., Li y., Li B., Niu J., Shan M., Guo Q., Wang Z., Qian X. (2013). *RSC Advances*, 3, 10579-10597. <https://doi.org/10.1039/c3ra00154g>
- Vinayagam M., Ramachandran S., Ramya V., Sivasamy A. (2018). *Environ Chem Eng*, 6, 39726-3734. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.06.005>



## Biochar de cáscara de cacao dopado con nitrógeno de orina para la activación de peroximonosulfato en la degradación de acetaminofén

Víctor Galindo Acosta<sup>a\*</sup>, Alba Ardila Arias<sup>b</sup>, Efraim Serna Galvis<sup>c</sup>, Ricardo Torres Palma<sup>d</sup>

<sup>a</sup> victorgalindo@elpoli.edu.co, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín

<sup>b</sup> anardila@elpoli.edu.co, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín

<sup>c</sup> Efrain.serna@udea.edu.co, Universidad de Antioquia, Medellín

<sup>d</sup> ricardo.torres@udea.edu.co, Universidad de Antioquia, Medellín.

**Palabras clave:** Cacao, peroximonosulfato, Orina, Carbocatálisis.

### Resumen

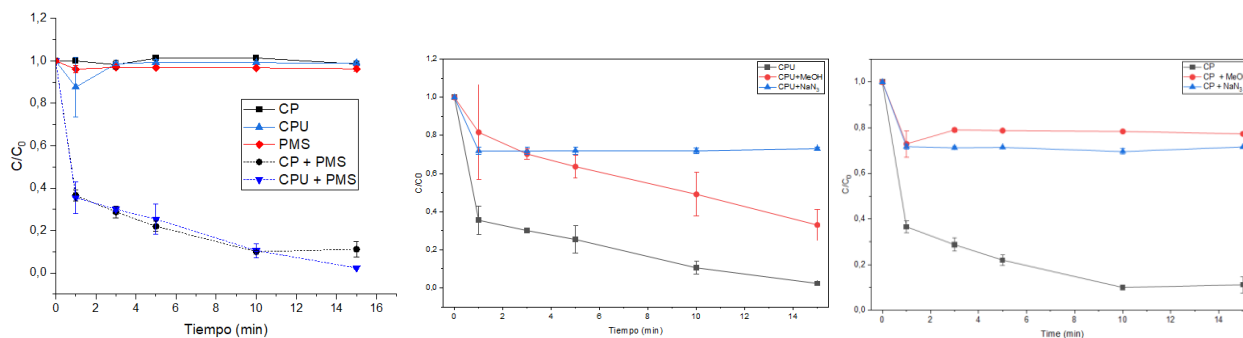
El acetaminofén se detecta frecuentemente en aguas superficiales debido a su alto consumo y a su eliminación incompleta en plantas de tratamiento convencionales. En respuesta, los procesos de oxidación avanzada basados en la activación de peroximonosulfato (PMS) han surgido como alternativas prometedoras para la degradación de contaminantes persistentes. En este contexto, los materiales carbonosos derivados de biomasa destacan como catalizadores atractivos por su bajo costo, sostenibilidad y química superficial ajustable.

En este trabajo, se preparó un biocarbón dopado con nitrógeno (CPU) mediante la pirólisis de una mezcla de biomasa de cacao y orina sintética a 600 °C durante dos horas en atmósfera de nitrógeno. Como material de referencia, se sintetizó un biocarbón sin dopaje (CP) bajo las mismas condiciones. La actividad catalítica de ambos materiales se evaluó en la degradación de acetaminofén en solución acuosa, empleando 0,2 g/L de catalizador, 60 mg/L de contaminante y 500 µM de PMS.

Los resultados mostraron que tanto CP como CPU presentan áreas superficiales relativamente bajas en comparación con carbones activados (5.0 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> para CP y 9.0 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> para CPU). Asimismo, los experimentos de control evidenciaron que ni el PMS ni los materiales carbonosos por separado generaron una remoción significativa del contaminante, confirmando que la degradación requiere la activación del PMS y que la adsorción es despreciable (Dang et al., 2025). En contraste, los sistemas combinados CP/PMS y CPU/PMS lograron degradaciones superiores al 90 % en aproximadamente 15 minutos, demostrando la eficacia de estos materiales como catalizadores para la activación del PMS (Paredes-Laverde et al., 2023).

Los estudios mecanísticos, basados en experimentos de captura de especies reactivas con metanol y azida de sodio, revelaron diferencias en las rutas de degradación. En el sistema CP/PMS, la inhibición significativa en presencia de metanol sugiere un mecanismo predominantemente radicalario, involucrando radicales sulfato e hidroxilo. Por su parte, el sistema CPU/PMS mostró una menor disminución en la eficiencia, indicando la participación de rutas no radicalarias promovidas por el dopaje con nitrógeno, lo cual también se evidenció en presencia de NaN<sub>3</sub> (Quimbaya-Ñañez et al., 2024).





**Figura 1.** (a) Remoción de ACE a través de adsorción (CP y CPU), oxidación directa (PMS) y catálisis (CP + PMS y CPU + PMS) y evolución de la degradación de ACE en MeOH y NaN<sub>3</sub> para CPU (a) y CP (b).

El análisis cromatográfico evidenció diferencias en la formación de intermediarios. El sistema CP/PMS generó múltiples productos intermedios, mientras que CPU/PMS produjo menos especies detectables, con un compuesto predominante. El análisis preliminar por GC-MS sugiere la formación de un producto dimérico del acetaminofén ( $m/z$  301.1192), consistente con un mecanismo de acoplamiento oxidativo (Li et al., 2020).

En conjunto, estos resultados demuestran que el biocarbón dopado con nitrógeno derivado de residuos de cacao es un catalizador eficiente y sostenible para procesos de oxidación avanzada basados en PMS. El dopaje no solo modifica las propiedades del material, sino que también favorece mecanismos no radicalarios que podrían mejorar la eficiencia y selectividad en la degradación de contaminantes farmacéuticos.

## Referencias

- Dang, T., Lu, G., Wang, M., Ji, Y., Chen, Y., & Jiang, R. (2025). Singlet oxygen-mediated activation of persulfate by MOF-derived materials for acetaminophen degradation. *Process Safety and Environmental Protection*, 199, 107213. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.107213>
- Li, B., Ma, X., Deng, J., Li, Q., Chen, W., Li, G., Chen, G., & Wang, J. (2020). Comparison of acetaminophen degradation in UV-LED-based advance oxidation processes: Reaction kinetics, radicals contribution, degradation pathways and acute toxicity assessment. *Science of The Total Environment*, 723, 137993. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137993>
- Paredes-Laverde, M., Porras, J., Acelas, N., Romero-Hernández, J. J., Jojoa-Sierra, S. D., Huerta, L., Serna-Galvis, E. A., & Torres-Palma, R. A. (2023). Rice husk-based pyrogenic carbonaceous material efficiently promoted peroxymonosulfate activation toward the non-radical pathway for the degradation of pharmaceuticals in water. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(59), 123616–123632. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30785-1>
- Quimbaya-Ñañez, C., Serna-Galvis, E. A., Silva-Agredo, J., Huerta, L., Torres-Palma, R. A., & Ávila-Torres, Y. (2024). Mn-based material derived from industrial sawdust for the elimination of ciprofloxacin: Loss of antibiotic activity and toxicity via carbocatalysis assisted by ultrasound. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(2), 112015. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112015>





## Hidratación de limoneno para la obtención de $\alpha$ -terpineol usando catalizadores soportados en carbón activado obtenidos de cáscaras de mazorca de cacao

Ana María Rodríguez López<sup>a\*</sup>, Marta Mediavilla<sup>b, c</sup>, Aída Luz Villa<sup>d</sup>

<sup>a</sup> ana.rodriguez5@udea.edu.co, Universidad de Antioquia, Medellín

<sup>b</sup> qmarta338@gmail.com, Universidad de Antioquia, Medellín

<sup>c</sup> qmarta338@gmail.com, Universidad Central de Venezuela, Caracas

<sup>d</sup> aida.villa@udea.edu.co, Universidad de Antioquia, Medellín

**Palabras clave:** Hidratación, limoneno,  $\alpha$ -terpineol, catálisis heterogénea

### Resumen

El  $\alpha$ -terpineol es un alcohol monoterpénico de alto valor comercial, utilizado en las industrias cosmética, farmacéutica y de alimentos; su obtención mediante hidratación de limoneno catalizada por sólidos con sitios ácidos Brönsted representa una ruta prometedora. En este trabajo se propone el uso de catalizadores heterogéneos ácidos, preparados a partir de carbón activado (CA) obtenido de cáscaras de mazorca de cacao (CMC), como alternativa para la hidratación de limoneno a  $\alpha$ -terpineol.

La CMC obtenida de frutos de cacao de la Granja Experimental de la Nacional de Chocolates en Támesis (Antioquia), fue lavada, cortada (2 cm x 2 cm, 5 mm) secada (105 °C, 16 h), triturada y tamizada (malla N° 40). La activación química se realizó con KOH en relación másica biomasa : KOH de 1 : 1 (CA-1), seguido de pirólisis (500 °C, 1 h, 100 mL/min de N<sub>2</sub>). El carbón activado (CA-1) fue funcionalizado con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98% (CA-1S) bajo reflujo a 150°C por 4 h (Da Luz Corrêa et al., 2020); también con ácido *p*-toluenosulfónico (*p*-TSA) (CA-1P) a 25°C por 24 h (Bhuyan & Ahmaruzzaman, 2024; Gao et al., 2014); o combinaciones de ambos, funcionalizando primero con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y después con *p*-TSA (CA-1SP). Además, la CMC fue directamente pirolizada (C500) y posteriormente doblemente funcionalizada con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y *p*-TSA (C-SP). Los catalizadores se caracterizaron mediante análisis FTIR. Las reacciones de hidratación se realizaron en reactor batch (80 °C, 7 h, 1300 rpm), relación másica limoneno : agua : isopropanol 1 : 1 : 2 y 80 mg catalizador. Para el análisis en GC/MS se realizó la extracción de los compuestos orgánicos de la mezcla bifásica de reacción con 50  $\mu$ L de carbonato de sodio (10% m/v) y 0,5 mL de acetato de etilo para obtener una sola fase antes del análisis.

El análisis de los espectros FTIR de los catalizadores CA-1S, CA-1P y CA-1SP, evidencian una excelente concordancia en la región de 1000–1150 cm<sup>-1</sup>, donde aparecen las bandas características de las vibraciones simétricas de S=O, confirmando la presencia de grupos –SO<sub>3</sub>H (Chang et al., 2015) debido a la funcionalización con diferentes ácidos. Estos resultados se correlacionan directamente con la actividad catalítica registrada en la **Tabla 1**, donde los catalizadores funcionalizados (CA-1S, CA-1P, CA-1SP) presentan conversiones de limoneno y selectividades a terpineol significativamente más altas en comparación con los no funcionalizados (C500, CA-1). En particular, el catalizador CA-1P exhibe la mayor conversión (26,6%) y selectividad (63,4%), lo que sugiere una mayor densidad o mejor accesibilidad a los sitios ácidos –SO<sub>3</sub>H. Además, el uso de *p*-TSA resulta más favorable desde el punto de vista ambiental en comparación con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, y su procedimiento de funcionalización es más simple y fácil de implementar. Por lo tanto, se logra demostrar que la funcionalización con grupos sulfónicos es clave para la actividad catalítica en la hidratación de limoneno a terpineol.



**Tabla 1.** Conversión de limoneno y selectividad a  $\alpha$ -terpineol.

| Catalizador | Conversión de limoneno (%) | Selectividad a terpineol (%) | Rendimiento a terpineol (%) |
|-------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| C500        | 1,0                        | 8,0                          | 0,1                         |
| CA-1        | 1,0                        | 28,0                         | 0,3                         |
| C-SP        | 6,0                        | 60,0                         | 3,6                         |
| CA-1SP      | 24,0                       | 62,0                         | 14,9                        |
| CA-1S       | 21,0                       | 60,0                         | 12,6                        |
| CA-1P       | 26,6                       | 63,4                         | 16,9                        |

Condiciones de reacción: 80 mg, 80 °C, 7 h, 1300 rpm, relación másica limoneno:agua:isopropanol = 1:1:2.

Se concluye que los catalizadores de carbón activado obtenidos de CMC y funcionalizados con ácidos son prometedores para la hidratación de limoneno, aunque se requieren mejoras en la conversión.

### Referencias:

Bhuyan, A., & Ahmaruzzaman, M. (2024). *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 34(10), 4842-4862. <https://doi.org/10.1007/s10904-024-03158-5>

Chang, B., Guo, Y., Yin, H., Zhang, S., & Yang, B. (2015). *Journal of Solid State Chemistry*, 221, 384-390. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2014.10.029>

Da Luz Corrêa, A. P., Bastos, R. R. C., Rocha Filho, G. N. D., Zamian, J. R., & Conceição, L. R. V. D. (2020). *SC Advances*, 10(34), 20245-20256. <https://doi.org/10.1039/D0RA03217D>

Gao, L., Xu, W., Chen, L., & Xiao, G. (2014). *Journal of Porous Materials*, 21(5), 667-675. <https://doi.org/10.1007/s10934-014-9813-8>



## Diseño y caracterización de biocarbones a partir de residuos de poda urbana: Influencia de la temperatura de pirólisis y la activación con $\text{H}_3\text{PO}_4$ .

Lisette Aime Ramirez<sup>a\*</sup>, Mariana Alvarez<sup>a</sup>, Victoria Soledad Gutierrez<sup>a</sup>,

<sup>a</sup>lisette.ramirez@uns.edu.ar, Departamento de Química, Instituto de Química del Sur (INQUISUR), Universidad Nacional del Sur, Av. Alem N°1253, 8000, Bahía Blanca, Argentina.

**Palabras clave:** Biocarbón; Pirólisis; Procesos de Oxidación avanzada.

### Resumen

La valorización termoquímica de residuos lignocelulósicos constituye una estrategia sustentable para el desarrollo de materiales carbonosos con potencial aplicación en catálisis ambiental. En este trabajo se investigó la influencia de la temperatura de pirólisis y de la activación química con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  sobre las propiedades estructurales y redox de biocarbones obtenidos a partir de residuos de poda urbana, con vistas a su potencial aplicación como catalizadores en Procesos de Oxidación Avanzada (POA).

Los materiales fueron sintetizados mediante pirólisis de biomasa prístina y biomasa impregnada con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (15 % m/v) a 450, 600 y 800 °C bajo atmósfera inerte. Se calcularon los rendimientos de pirólisis a cada producto de reacción (Tabla 1). La caracterización fisicoquímica se realizó mediante análisis elemental, análisis termogravimétrico acoplado a análisis térmico diferencial (TG-DTA), espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier en modo reflectancia total atenuada (FTIR-ATR), resonancia magnética nuclear de sólidos de  $^{13}\text{C}$  con polarización cruzada desde  $^1\text{H}$  y giro al ángulo mágico ( $^{13}\text{C}$  CP-MAS), microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía de resonancia paramagnética electrónica (EPR). En particular, el análisis termogravimétrico fue llevado a cabo sobre la biomasa prístina y la biomasa pretratada con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  con el fin de simular el proceso de pirólisis e identificar las principales etapas de descomposición térmica. Los perfiles TG-DTA evidenciaron modificaciones significativas inducidas por la activación química, incluyendo cambios en los eventos de descomposición de hemicelulosa, celulosa y lignina (Bergier et al., 2015). La activación con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  alteró significativamente la descomposición térmica de la biomasa y promovió la formación de especies fosforadas superficiales, así como cambios estructurales compatibles con procesos de deshidratación y aromatización temprana durante la pirólisis.

El incremento de la temperatura de pirólisis promovió una marcada aromatización y condensación de la matriz carbonosa, evidenciada por la disminución de la relación molar H/C de 0,50 a 0,23 en los materiales no modificados (Tabla 1). Adicionalmente, todos los materiales analizados presentaron un índice H/C inferior a 0,7, lo cual indica un grado de estabilidad apto para aplicaciones ambientales según la Certificación Europea de Biocarbón (EBC) (Leng et al., 2019)



**Tabla 1.** Rendimientos de pirólisis y composición elemental de los catalizadores.

| Material               | Rendimiento de pirólisis |                |            | C<br>(% m/m) | H<br>(% m/m) | N<br>(% m/m) | Indice<br>H/C |
|------------------------|--------------------------|----------------|------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
|                        | Sólido<br>(%)            | Líquido<br>(%) | Gas<br>(%) |              |              |              |               |
| P-450                  | 27,9                     | 29,9           | 42,2       | 66,60        | 1,49         | 2,78         | 0,50          |
| P-600                  | 30,6                     | 32,1           | 37,3       | 74,51        | 2,32         | 1,25         | 0,37          |
| P-800                  | 33,5                     | 36,1           | 30,4       | 67,29        | 1,32         | 0,98         | 0,23          |
| P-PO <sub>4</sub> -450 | 41,6                     | 31,4           | 27,0       | 76,61        | 2,65         | 1,10         | 0,42          |
| P-PO <sub>4</sub> -600 | 53,2                     | 30,5           | 16,3       | 64,74        | 3,52         | 0,95         | 0,65          |
| P-PO <sub>4</sub> -800 | 37,3                     | 42,1           | 20,6       | 52,68        | 1,61         | 0,35         | 0,37          |

Paralelamente, los espectros FTIR-ATR revelaron una disminución progresiva de grupos funcionales oxigenados superficiales y un desarrollo creciente de dominios aromáticos/grafíticos. Los análisis de <sup>13</sup>C CP-MAS confirmaron el predominio de estructuras aromáticas heterogéneas en todos los materiales, así como modificaciones en el entorno químico de los carbonos superficiales inducidas por la activación ácida (Chu et al., 2018). Las micrografías SEM evidenciaron el desarrollo de estructuras porosas heterogéneas, observándose una mayor generación de poros en los materiales activados con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> a 600 °C. Este comportamiento sugiere que la activación promueve un aumento de porosidad a temperaturas intermedias, favoreciendo el acceso a sitios superficiales y potencialmente mejorando el desempeño catalítico. Adicionalmente, los espectros EPR de todas las muestras evidenciaron la generación de radicales libres persistentes (PFRs) centrados en carbono, los cuales podrían resultar activos en catálisis ambiental (Liu et al., 2024).

En conjunto, los resultados demuestran que la combinación de activación con ácido fosfórico y el control de la temperatura de pirólisis permiten modular racionalmente la estructura y la química superficial de biocarbones derivados de residuos de poda.

## Referencias

- Bergier, I., Maia, C. M. B. F., Guiotoku, M., Paiva, P., Silva, A. P., & Novotny, E. H. (2015). Pyrolysis Dynamics of Biomass Residues in Hot-Stage. *BioResources*, 10(4), 7604–7617. <https://doi.org/10.15376/biores.10.4.7604-7617>
- Chu, G., Zhao, J., Huang, Y., Zhou, D., Liu, Y., Wu, M., Peng, H., Zhao, Q., Pan, B., & Steinberg, C. E. W. (2018). Phosphoric acid pretreatment enhances the specific surface areas of biochars by generation of micropores. *Environmental Pollution*, 240, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.003>
- Leng, L., Huang, H., Li, H., Li, J., & Zhou, W. (2019). Biochar stability assessment methods: A review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 647, pp. 210–222). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.402>
- Liu, X., Chen, Z., Lu, S., Shi, X., Qu, F., Cheng, D., Wei, W., Shon, H. K., & Ni, B. J. (2024). Persistent free radicals on biochar for its catalytic capability: A review. In *Water Research* (Vol. 250). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120999>





## Degradación foto-catalítica de 2-clorofenol empleando materiales nano-estructurados con hierro activados con radiación visible.

Pablo A. Ochoa Rodríguez<sup>a\*</sup>, Eliana G. Vaschetto<sup>a</sup>, Griselda A. Eimer<sup>a</sup>, Verónica R. Elías<sup>a</sup>.

<sup>a</sup> [pochoa@frc.utn.edu.ar](mailto:pochoa@frc.utn.edu.ar), Centro de Investigación y Tecnología Química (CITeQ) – Universidad Tecnológica Nacional/Facultad Regional Córdoba – CONICET, Córdoba, Argentina.

**Palabras clave:** contaminantes emergentes, fotocatálisis, luz visible, materiales mesoporosos.

### Resumen

En la actualidad son numerosos los esfuerzos orientados a dar respuesta a la contaminación del agua por contaminantes emergentes. Dado que estos compuestos no pueden ser eliminados eficazmente mediante tecnologías convencionales, han surgido alternativas como los Procesos Avanzados de Oxidación (PAOs), basados en la generación de especies radicalarias de elevado poder oxidante. Dentro de este grupo se encuentran los clorofenoles, compuestos aromáticos tóxicos asociados a actividades industriales, cuya presencia en aguas superficiales, subterráneas y efluentes genera efectos adversos sobre los ecosistemas [1].

En este contexto, previamente ha reportado la eficiencia del TiO<sub>2</sub> mesoporoso autodopado con carbono y dopado con hierro en la degradación de diversos compuestos orgánicos, incluyendo 2-clorofenol, con elevadas tasas de degradación y mineralización [1, 2].

Debido a esto, en este trabajo se emplearon materiales mesoporosos nanoestructurados con hierro en su composición: **M1** corresponde a un TiO<sub>2</sub> mesoporoso dopado con hierro y autodopado con carbono, sintetizado por sol-gel sin agente estructurante; **M2** es un material tipo Fe-SBA-15 obtenido por incorporación directa de hierro en una matriz silícea ordenada. **M3** consiste en una sílice mesoporosa modificada con hierro, sintetizada con porógenos renovables. A diferencia de M1, tanto M2 como M3 presentan un mayor contenido de hierro. La degradación de 2-clorofenol se evaluó durante 120 min en un reactor equipado con módulos LED de alta potencia, emisores de radiación visible.

Los resultados evidenciaron una marcada dependencia de la actividad fotocatalítica con la naturaleza del material. M1 presentó el mejor desempeño (86% de degradación y 42% de mineralización), seguido por M2 (50% y 30%) y M3 (27% y 0%). El comportamiento superior de M1 se atribuye a su estructura calcinada, semiconductora, autodopada con carbono y a la presencia de pequeñas cantidades de hierro, lo que favorece la absorción en el visible y la separación eficiente de las especies fotogeneradas de cargas [1].

M2 mostró actividad intermedia, asociada a la presencia de especies Fe<sup>3+</sup> altamente dispersas y aisladas en la estructura SBA-15, tal como sugiere el análisis UV-Vis [3], donde predominan estas especies estabilizadas por la matriz de sílice. En M3, el mismo análisis espectrométrico [4] evidencia la coexistencia de especies Fe<sup>3+</sup> aisladas (220–300 nm) junto con contribuciones a mayores longitudes de onda, atribuidas a clusters oligoméricos y/o nanopartículas de óxidos de hierro, lo que indica una fracción significativa de especies agregadas. Esta combinación limita su eficiencia fotocatalítica, reflejándose en baja degradación y ausencia de mineralización.

Las isothermas de N<sub>2</sub> tipo IV confirman el carácter mesoporoso de todos los materiales [1, 3-4]; no obstante, la eficiencia fotocatalítica está principalmente gobernada por las propiedades electrónicas y la dispersión



de las especies activas. En conjunto, la especiación del hierro resulta determinante en la actividad catalítica: mientras que en M2 y M3 la coexistencia de especies aisladas y agregadas controla la respuesta, en M1 la estructura semiconductor permite alcanzar mayor eficiencia con menor contenido de hierro. Finalmente, los resultados demuestran que todos los catalizadores fueron activos en la degradación de 2-clorofenol, destacando la importancia de la especiación del hierro y aportando bases para el diseño de procesos fotocatalíticos eficientes. Asimismo, se resalta la necesidad de considerar aspectos como las condiciones de síntesis y el uso de metodologías eco-friendly en el desarrollo de materiales orientados a aplicaciones sustentables.

**Tabla 1.** Porcentaje de degradación (%ε) y mineralización (%α) alcanzados por los catalizadores.

[2-CP] inicial = 20 ppm; [Catalizador] = 0,1 gL<sup>-1</sup>; pH= 5

| Catalizador | %ε        | %α        |
|-------------|-----------|-----------|
| <b>M1</b>   | <b>86</b> | <b>42</b> |
| <b>M2</b>   | <b>50</b> | <b>30</b> |
| <b>M3</b>   | <b>27</b> | <b>-</b>  |

## Referencias

- [1] Ochoa Rodríguez, P., Casuscelli, S., Elías, V., & Eimer, G. (2021). *LED visible-light activated mesoporous TiO<sub>2</sub>: A better understanding about carbon role in the photocatalytic performance of solid*. *Catalysis Today*, 372, 198–210. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2020.10.015>
- [2] Ochoa Rodríguez, P., Benzaquén, T., Vaschetto, E., Brunetti, V., Eimer, G., & Elías, V. (2025). *A comparative study of self-doped TiO<sub>2</sub> catalysts obtained from different routes: analysis of efficiencies in the degradation of 2-chlorophenol under LED visible light*. *New Journal of Chemistry*, 49, 20500–20506. <https://doi.org/10.1039/D5NJ03686K>
- [3] Benzaquén, T., Ochoa Rodríguez, P., Cánepa, A., Casuscelli, S., Elías, V., & Eimer, G. (2020). *Heterogeneous Fenton reaction for the treatment of ACE in residual waters of pharmacological origin using Fe-SBA-15 nanocomposites*. *Molecular Catalysis*, 481, 110239. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2018.11.010>
- [4] Vaschetto, E., Pérez Pariente, J., & Eimer, G. (2026). *Tuning synthesis conditions for obtaining innovative eco-friendly solids to degrade glyphosate in contaminated waters*. *Microporous and Mesoporous Materials*, 407, 114123. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2026.114123>



## Diseño de fotocatalizadores de $\text{TiO}_2$ libres de metales nobles: sinergia entre polimorfo de alta presión y estados electrónicos intra band gap.

Mufari, A.<sup>a</sup>; Capelupi, T.<sup>b</sup>, Saleta M. E. <sup>c, d, e</sup>, Zelaya, E.<sup>e</sup>, Furlong O.<sup>f</sup>, Zanoni, M. V. B.<sup>b</sup>, Cadús L.<sup>a</sup>, Brito, J. F.<sup>b\*</sup> and Larrégola, S. A.<sup>a\*</sup>

a Instituto de Investigaciones en Tecnología Química (INTEQUI), UNSL - CONICET, Almirante Brown 1455, 5700, San Luis, Argentina.

b Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Química, Araraquara, Brazil

c Instituto de Nanociencia y Nanotecnología (INN), CNEA-CONICET, Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, 8400 S. C. de Bariloche (RN), Argentina.

d Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo and CNEA, Av. Bustillo 9500, 8400 S. C. Arg.

e Centro Atómico Bariloche, CNEA, Av. Bustillo 9500, 8400 S. C. de Bariloche (RN), Argentina.

**Palabras clave:** fotoreducción,  $\text{CO}_2$ , HEBM, PCA

### Resumen

La fotoreducción de  $\text{CO}_2$  representa una vía prometedora para la producción de combustibles solares, aunque su aplicación práctica se ve limitada por la baja eficiencia y la rápida recombinación de cargas en materiales como  $\text{TiO}_2$  anatasa (Habisreutinger et al., 2013; Ola & Maroto-Valer, 2015). En este contexto, la molienda mecánica de alta energía (HEBM) permite modificar profundamente su estructura, estabilizando un polimorfo metaestable  $\text{TiO}_2$ -II en superficie y generando defectos cristalinos que alteran la reactividad superficial y la respuesta óptica del material.

En este trabajo se desarrollaron nanocompuestos anatasa/ $\text{TiO}_2$ -II mediante HEBM asistida por metanol como agente controlador de proceso (PCA), con el objetivo de analizar cómo las modificaciones estructurales y electrónicas inducidas afectan la fotoreducción de  $\text{CO}_2$ . Las muestras preparadas con PCA se denominan MXM, donde X indica el tiempo de molienda (5, 15 y 45 min), mientras que MX corresponde a  $\text{TiO}_2$  molido sin PCA.

Los datos de difracción de rayos X (Figura 1a) muestran una reducción progresiva del tamaño de cristalitas de anatasa y el crecimiento de  $\text{TiO}_2$ -II. En la serie sin PCA, la evolución estructural (Figura 1b) alcanza en M15 un estado óptimo con aproximadamente un 30% en peso de  $\text{TiO}_2$ -II, cristalitas de 52 nm para anatasa y 5 nm para  $\text{TiO}_2$ -II, y microdeformación moderada. En presencia de metanol, esta transformación se desplaza hacia mayores tiempos, de modo que M45M alcanza una composición y parámetros microestructurales globalmente comparables a los de M15.

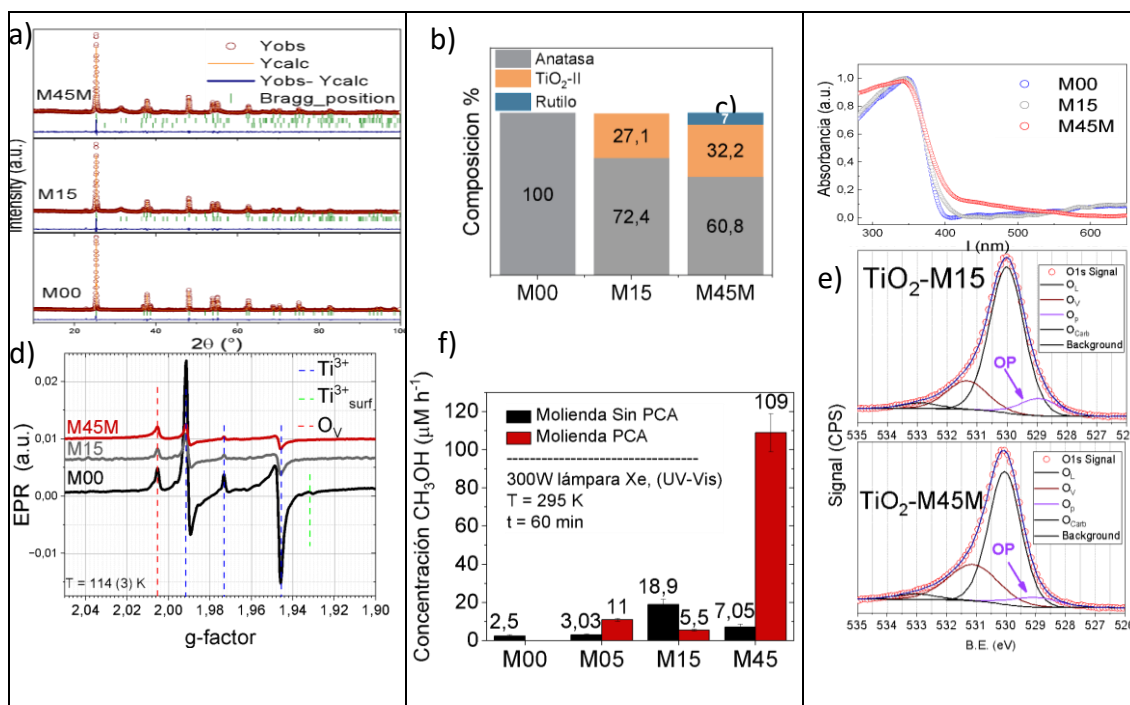
Los espectros de absorción UV-Vis obtenidos por reflectancia difusa (Figura 1c), muestran que M05M presenta un band gap indirecto típico de anatasa (3.17 eV), mientras que en M15M aparece una segunda contribución a menor energía (3.09 eV). En M45M, la transición principal se desplaza a 3.09 eV, acompañada por una segunda absorción a 2.98 eV, consistente con  $\text{TiO}_2$ -II, y una contribución adicional entre 2.7 y 2.8 eV, compatible con absorción sub-band-gap asociada a estados intra-gap vinculados al desorden estructural, la microdeformación y/o las interfaces. En paralelo, el área superficial específica aumenta hasta  $16.5 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  en M45M.

El análisis por EPR en banda X (114 K) (Figura 1d) indica que la HEBM no genera nuevos tipos de defectos paramagnéticos, sino que modifica su población y estabilización. Mientras que los estudios por XPS (Figura



1e) muestran que la componente OP del O 1s (528.2-528.5 eV), asociada a oxígenos electrónicamente enriquecidos (Mufari et al., 2026), presenta una intensidad comparable entre M15 y M45M.

La fotoreducción de CO<sub>2</sub> en presencia de metanol (Figura 1f) presenta una evolución distinta respecto de la serie sin PCA. En ambas series, el máximo de actividad fotocatalítica se observa para composiciones cercanas al 30% en peso de TiO<sub>2</sub>-II, con producciones de metanol de 18.9 μmol L<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> para M15 y 109 μmol L<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> para M45M. En conjunto, los resultados indican que el metanol como PCA no solo retrasa la evolución estructural inducida por la molienda, sino que también favorece configuraciones estructurales y electrónicas más eficientes para la adsorción, activación y fotoreducción de CO<sub>2</sub>.



**Figura 1.** a) Gráficos de refinamiento Rietveld obtenidos para las muestras M05, M15 y M45M. b) Composiciones derivadas de los refinamientos Rietveld. c) Espectros de Absorbancia UV-Vis. d) Espectros EPR colectados a T = 114 K. e) Espectros XPS de alta resolución de O1s. f) Fotogeneración de metanol.

## Referencias:

- Habisreutinger, S. N., Schmidt-Mende, L., & Stolarczyk, J. K. (2013). *Angewandte Chemie International Edition*, 52(29), 7372-7408. <https://doi.org/10.1002/anie.201207199>.
- Mufari, A., Capelupi, T., Saleta, M., Zelaya, E., Furlong, O., Zanoni, M. V. B., Cadús, L. E., Brito, J. F. D., & Larrégola, S. (2026). *ACS Omega*, 11(11), 17404-17417. <https://doi.org/10.1021/acsomega.5c10398>
- Ola, O., & Maroto-Valer, M. M. (2015). *Journal of Photochemistry and Photobiology C*: 24, 16-42. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2015.06.001>





# Síntesis y caracterización de nanofibras de PAN/TiO<sub>2</sub> para la fotodegradación de contaminantes atmosféricos

**Martínez Yanet Maribel<sup>a\*</sup>, Benzaquén Tamara Belén<sup>b</sup>, Blanco María Belén<sup>c</sup>**

<sup>a,c</sup> Instituto de Investigaciones en Fisicoquímica de Córdoba (I.N.F.I.Q.C.), Dpto. de Fisicoquímica. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

<sup>b</sup> Centro de Investigación y Tecnología Química (CITeQ), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Córdoba, Argentina.

e-mail: Yanet.martinez@mi.unc.edu.ar

**Palabras clave:** Nanofibras, TiO<sub>2</sub>, Fotocatálisis, Contaminantes atmosféricos.

## Resumen

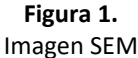
La contaminación atmosférica a nivel global constituye uno de los desafíos ambientales más importantes en la actualidad, lo que ha impulsado el desarrollo de diversas tecnologías orientadas a su mitigación [1]. En este contexto, la fotocatálisis heterogénea se presenta como una estrategia prometedora, basada en la activación de fotocatalizadores, principalmente semiconductores, que generan especies reactivas capaces de descomponer contaminantes orgánicos e inorgánicos. Entre los distintos fotocatalizadores, el dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) se distingue por su alta eficiencia, estabilidad y bajo costo [2]. Sin embargo, su uso en forma de nanopartículas enfrenta limitaciones asociadas a la dificultad de recuperación y reutilización tras el proceso catalítico. Como alternativa, la incorporación de TiO<sub>2</sub> en materiales en forma de nanofibras y fibras ha demostrado ser un método eficaz, permitiendo obtener membranas con elevada relación superficie-volumen, baja densidad, alta porosidad, excelentes propiedades mecánicas en relación a su peso (flexibilidad, tenacidad y resistencia a la tracción) y facilidad en su recuperación.

En este estudio, las membranas fibrosas se sintetizaron mediante la técnica de “electrospinning” y se caracterizaron con el objetivo de evaluar su estructura y propiedades. Se utilizó poliacrilonitrilo (PAN) como matriz polimérica y TiO<sub>2</sub> como componente fotocatalítico activo. Se analizaron distintas formulaciones con relaciones PAN/TiO<sub>2</sub> de 1:1, 1:0,75, 1:0,5 y 1:0,25, tomando como referencia la fibra compuesta únicamente por PAN.

La morfología de las nanofibras se evaluó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), revelando para todas las formulaciones estructuras tubulares con un diámetro promedio cercano a 650 nm. La muestra de referencia (Figura 1A) mostró una superficie lisa y homogénea, sin presencia de agregados significativos y con una distribución uniforme de las fibras. En contraste, las nanofibras con incorporación de TiO<sub>2</sub> (Figura 1B) exhibieron una superficie notablemente más rugosa, atribuible a la presencia y distribución del fotocatalizador sobre la matriz polimérica. Además, se observó un engrosamiento de las fibras con TiO<sub>2</sub> respecto de la muestra de referencia.

Por otra parte, el análisis elemental mediante espectroscopía de energía dispersiva de rayos X (EDS) reveló que la superficie de las nanofibras presentó una distribución homogénea de los elementos Ti y C. Sugiriendo una adecuada dispersión del TiO<sub>2</sub> dentro de la matriz, sin presencia de aglomeraciones significativas.





El área superficial específica, determinada mediante análisis BET, mostró un incremento progresivo al aumentar el contenido de  $\text{TiO}_2$ , alcanzando un valor de  $25,9 \text{ m}^2/\text{g}$  para la muestra con mayor concentración del óxido, en contraste con los  $8 \text{ m}^2/\text{g}$  registrados para la fibra compuesta únicamente por PAN. Este comportamiento sugiere que la incorporación del fotocatalizador promueve el desarrollo de una estructura más porosa y con mayor superficie expuesta, incrementando la disponibilidad de sitios activos. En consecuencia, esta característica podría favorecer los procesos de adsorción de contaminantes y contribuir a una mayor eficiencia en la degradación fotocatalítica.

Las propiedades ópticas, evaluadas mediante espectroscopía UV-Vis, evidenciaron que la muestra de referencia no presentó absorción en la región UV-Vis. En contraste, las fibras con contenido de  $\text{TiO}_2$  exhibieron una marcada absorción en el rango de 300–400 nm, característico de la activación del semiconductor. Además, se observó que la intensidad de absorción aumentó con la concentración de  $\text{TiO}_2$ , lo que indica una mayor interacción con la radiación UV y, en consecuencia, un incremento en la generación de especies reactivas capaces de promover la degradación fotocatalítica de los contaminantes.

En conclusión, la caracterización de las nanofibras PAN/TiO<sub>2</sub> reveló una combinación favorable de mayor área superficial, adecuada estructura porosa, distribución homogénea del TiO<sub>2</sub> y respuesta óptica en la región UV. Estas propiedades evidencian el potencial de los materiales desarrollados para su aplicación en procesos fotocatalíticos como la degradación de contaminantes.

[1] Afifa, Arshad, K., Hussain, N., Ashraf, M. H., & Saleem, M. Z. (2024). Air pollution and climate change as grand challenges to sustainability. *The Science Of The Total Environment*, 928, 172370. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172370>

[2] Mohammed, S., Shnain, Z., & Abid, M. (2022). Use of TiO<sub>2</sub> in Photocatalysis for Air Purification and Wastewater Treatment: A Review. Engineering And Technology Journal, 40(9), 1-13. <https://doi.org/10.30684/etj.2021.131177.1015>

[3] Zhang, W., He, Z., Han, Y., Jiang, Q., Zhan, C., Zhang, K., Li, Z., & Zhang, R. (2020). Structural design and environmental applications of electrospun nanofibers. *Composites Part A Applied Science And Manufacturing*, 137, 106009. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2020.106009>



**Tabla 1.** Caracterización fisicoquímica de los diferentes materiales.

| Caracterización                          | Valores |        |              |              |               |               |
|------------------------------------------|---------|--------|--------------|--------------|---------------|---------------|
|                                          | TC      | TC-500 | TC-500-SB-80 | TC-500-SA-80 | TC-500-SB-100 | TC-500-SA-100 |
| Área superficial BET (m <sup>2</sup> /g) | 10      | 62     | 63           | 83           | 64            | 80            |
| Volumen de poro (cm <sup>3</sup> /g)     | 0,015   | 0,45   | 0,44         | 0,54         | 0,42          | 0,52          |
| Diámetro de poro (nm)                    | 2,75    | 27,68  | 28,64        | 33,39        | 32,02         | 34,66         |
| Punto isoeléctrico                       | 8,50    | 7,56   | 7,43         | 7,38         | 7,42          | 7,29          |
| Carboxílicos (μmol/g)                    | 0       | 3,10   | 0            | 0            | 0             | 0             |
| Lacónicos (μmol/g)                       | 0       | 0      | 0            | 0            | 0             | 0             |
| Fenólicos (μmol/g)                       | 150,0   | 565,8  | 594,3        | 252,4        | 679,7         | 223,9         |
| Contenido de cenizas (%)                 | 8,70    | 18,13  | 18,57        | 15,56        | 18,19         | 16,83         |

En la Tabla 2, se relacionan los valores para los porcentajes de remoción y la sinergia para la adsorción, oxidación y carbocatálisis. Existe una relación directa entre el área superficial y la capacidad de adsorción. Por otra parte, a los 5 minutos se observa un mayor porcentaje de carbocatálisis en los materiales pirolizados y sonicados en comparación con los gránulos de caucho sometidos sin ningún tratamiento pirolítico previo. No se observan diferencias estadísticamente significativas entre los materiales sonicados y pirolizados. Adicionalmente, a los 15 min se observan porcentajes de remoción por carbocatálisis cercanos al 100% con todos los materiales excepto con los gránulos de llanta crudos, además no se identifica la formación de sustancias intermediarias durante la carbocatálisis al analizar las soluciones finales por HPLC. No obstante, al normalizar la cantidad de colorante degradado por grupos funcionales superficiales fenólicos y área superficial de material, los gránulos de neumáticos muestran mejor eficiencia que los demás materiales. Finalmente, las pruebas de activación del peroximonosulfato muestran que ésta se pueda dar por rutas radicalarias y no radicalarias.

**Tabla 2.** Porcentajes de remoción y sinergia para la adsorción, oxidación y carbocatálisis.

| Material      | Tiempo: 5 min     |                   |                   |          | Tiempo: 15 min    |                   |                   |          |
|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
|               | % R <sub>AD</sub> | % R <sub>OD</sub> | % R <sub>CC</sub> | Sinergia | % R <sub>AD</sub> | % R <sub>OD</sub> | % R <sub>CC</sub> | Sinergia |
| TC            | 16,16             | 29,18             | 55,85             | 1,23     | 16,92             | 33,88             | 60,24             | 1,19     |
| TC-500        | 3,09              | 29,18             | 79,67             | 2,47     | 2,16              | 33,88             | 95,31             | 2,64     |
| TC-500-SB-80  | 3,37              | 29,18             | 73,67             | 2,26     | 5,48              | 33,88             | 95,99             | 2,44     |
| TC-500-SA-80  | 5,29              | 29,18             | 77,34             | 2,24     | 23,54             | 33,88             | 96,48             | 1,68     |
| TC-500-SA-100 | 3,34              | 29,18             | 80,03             | 2,46     | 7,36              | 33,88             | 98,52             | 2,39     |
| TC-500-SB-100 | 4,31              | 29,18             | 72,30             | 2,15     | 5,14              | 33,88             | 96,97             | 2,48     |

## Referencias

Nuramirah, S., Muhammad, R., Fatahah, N., Zainal, A., & Chay, C. (2025). Global trends of waste tire pyrolysis research: A bibliometric analysis. *Clean Energy Systems*, 10, 100181.

Xiao, Z., Pramanik, A., Basak, A. K., Prakash, C., & Shankar, S. (2022). Material recovery and recycling of waste tyres: A review. *Cleaner Materials*, 5, 100115.

Kumar, S., Tewari, C., Sahoo, N. G., & Philip, L. (2022). Mechanistic insights into carbo-catalyzed persulfate treatment for simultaneous degradation of cationic and anionic dye in multicomponent mixture using plastic waste-derived carbon. *Journal of Hazardous Materials*, 435, 128956.





## Micorremediación de colillas de cigarrillos mediante el uso de hongos comestibles y/o medicinales

**Melina G. Di Liberto, Maximiliano Sortino, Estefanía Butassi\***

Laboratorio de Bioprospección de Productos Antimicrobianos, Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina. \*estefaniabutassi@gmail.com

**Palabras clave:** Micorremediación, Basidiomicetes, Colillas de cigarrillo, Gestión de residuos

### Resumen

Las colillas de cigarrillos constituyen uno de los residuos sólidos tóxicos más abundantes y contaminantes a nivel mundial para los cuales no existe tratamiento alguno. El principal componente de las colillas es el filtro de acetato de celulosa, un tipo de plástico que se degrada lentamente y pueden transformarse en microplásticos. El filtro retiene sustancias químicas tóxicas (nicotina, pesticidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos y metales pesados). Con el tiempo, estas sustancias se transfieren al suelo o al agua, contaminando el ambiente. La micorremediación surge como una alternativa sustentable en el que se remueven contaminantes usando hongos. Estos son organismos conocidos por su gran habilidad para degradar materia orgánica y reincorporarla en la naturaleza. Entre ellos, los de pudrición blanca de la madera son capaces de degradar gran variedad de sustancias complejas debido a la producción de enzimas extracelulares.<sup>1-3</sup> El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la capacidad biorremediadora de hongos comestibles y/o medicinales sobre colillas de cigarrillos (CC). En una primera etapa, se analizó su capacidad de colonización y crecimiento bajo diferentes condiciones experimentales. Posteriormente se evaluó la eficacia del proceso mediante ensayos de fitotoxicidad, con el propósito de validar la reducción del impacto tóxico de estos residuos.

Se trabajó con 4 especies fúngicas: *Pleurotus ostreatus* (PO; gírgola), *P. djamor* (PD; gírgola rosa), *Ganoderma lucidum* (GL; reishi) y *Agrocybe aegerita* (AA; piopino). La inoculación de las CC se realizó utilizando semilla miceliada de cada especie. Se establecieron cuatro condiciones experimentales: (A) CC enteras sin sustrato; (B) CC enteras con sustrato; (C) CC cortadas sin sustrato; y (D) CC cortadas con sustrato. Se utilizó como sustrato lignocelulósico de soporte una mezcla de yeso, salvado de avena y aserrín (de saligna, álamo y sauce) en una proporción 1:2:12.

Los ensayos se realizaron por duplicado en frascos de vidrio utilizando 15 g de CC (75% de humedad) y 25 % de semilla miceliada. Se cubrieron con una cinta microporosa para permitir su oxigenación y se incubaron a temperatura ambiente (24 °C) en oscuridad, durante 30 días. Se prepararon controles correspondientes a las 4 condiciones sin inocular. El crecimiento se monitoreó semanalmente mediante el registro visual del porcentaje de avance micelial de cada hongo en las distintas condiciones.

Adicionalmente, se evaluó el impacto biológico residual del material tratado mediante un ensayo preliminar de fitotoxicidad utilizando semillas de tomate y achicoria. Para ello, se prepararon extractos acuosos por maceración a temperatura ambiente, sin agitación, durante 24 h; posteriormente, los extractos fueron filtrados y el filtrado obtenido fue empleado para los ensayos. Se analizaron semillas expuestas a extractos de los siguientes tratamientos: control de crecimiento (agua destilada), CC sin tratar, CC tratadas con PO y CC tratadas con GL. Como parámetro de evaluación, se observó la germinación o no de las semillas.

Los resultados mostraron que todas las especies fúngicas evaluadas fueron capaces de colonizar y crecer abundantemente en las diferentes condiciones experimentales. Al finalizar el ensayo, resultó notoria la





# **Valorización de residuos mineros mediante la transformación *in situ* de $\alpha$ - $\text{Bi}_2\text{O}_3$ en $\text{BiOCl}$ para la eliminación de rodamina B**

Carolina Lopera<sup>a</sup>, Sebastián Pérez<sup>a</sup>, Nancy Acelas<sup>a\*</sup>, Angélica Forgionny<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Grupo de Investigación Materiales con Impacto (Mat&mpac), Instituto de Ciencias Básicas, Facultad de Ingenierías,  
 Universidad de Medellín, Medellín 050026, Colombia  
 Email: \*mforgionny@udemedellin.edu.co

**Palabras clave:** Fotodegradación, Adsorción, Rodamina B, aguas residuales

## **Resumen**

La creciente presión antropogénica sobre los recursos hídricos, impulsada por el desarrollo urbano, industrial y hospitalario, ha intensificado la presencia de contaminantes emergentes en sistemas acuáticos, incluyendo fármacos, hormonas y compuestos bioactivos persistentes. Estos contaminantes, caracterizados por su elevada estabilidad, baja biodegradabilidad y potencial de bioacumulación, representan una amenaza crítica para la salud ambiental y humana, al inducir resistencia antimicrobiana, disrupción endocrina y efectos ecotoxicológicos severos. Las tecnologías convencionales de tratamiento resultan insuficientes frente a estos compuestos recalcitrantes, evidenciando la necesidad urgente de soluciones más eficientes, sostenibles y escalables [1].

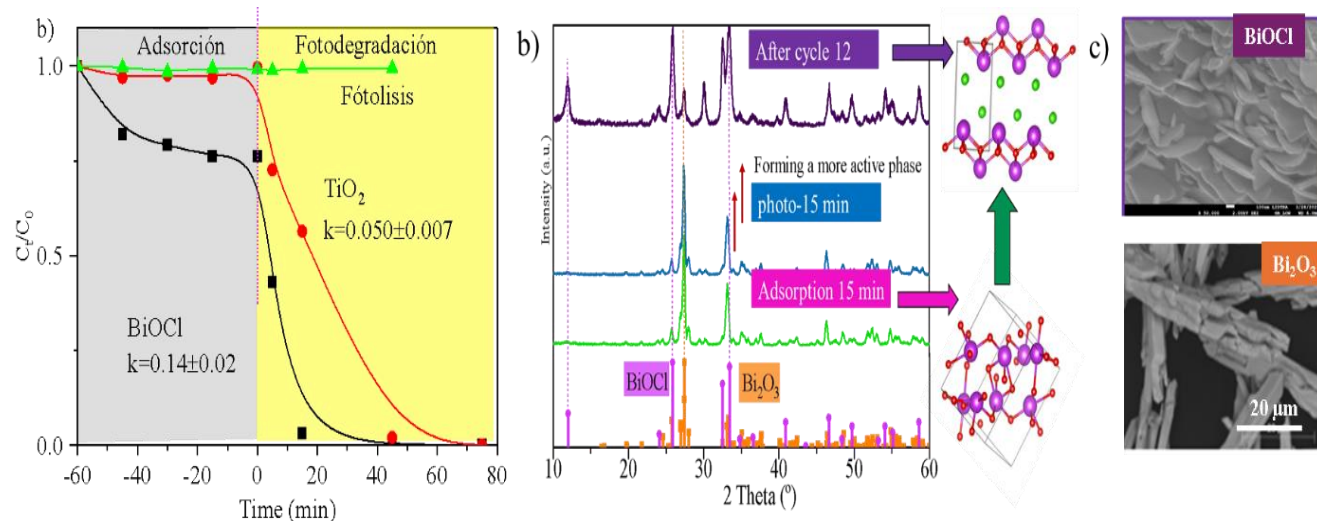
En este trabajo se presenta una estrategia basada en la transformación estructural *in situ* de  $\alpha$ - $\text{Bi}_2\text{O}_3$  durante la degradación de rodamina B (RhB), empleando como precursor bismuto recuperado de residuos de la industria minera de la extracción de Ag, Pb, Cu. Específicamente, se utilizaron pellets aciculares (1–2 cm) provenientes del proceso de beneficio (Industrias Peñoles S.A., México) [2], los cuales fueron convertidos en  $\alpha$ - $\text{Bi}_2\text{O}_3$  mediante disolución en ácido nítrico (~8.0 M) y posterior precipitación alcalina con NaOH. En medios acuosos clorados, el material evoluciona hacia fases fotocatalíticamente activas de  $\text{BiOCl}$ . La evaluación se realizó empleando RhB como contaminante modelo (100 mg de sólido en 100 mL de solución, con una concentración inicial de 10 mg/L) a distintos valores de pH, incorporando una etapa inicial de adsorción en oscuridad (60 min), seguida de irradiación UV-Vis (310–400 nm) mediante un simulador solar para inducir la fotodegradación. La concentración residual se determinó por espectrofotometría UV-Vis, mientras que la estabilidad del material se analizó mediante ciclos de reutilización. Finalmente, la caracterización estructural y morfológica se llevó a cabo mediante difracción de rayos X (XRD) y microscopía electrónica de barrido (SEM), evidenciando un acoplamiento efectivo entre los procesos de adsorción y degradación fotocatalítica.

Como se muestra en la Figura 1a, el sistema exhibe un desempeño altamente eficiente. Durante la etapa inicial de adsorción, el material alcanza una remoción del 24%, significativamente superior a la del  $\text{TiO}_2$  comercial Degussa P25, que presenta una adsorción prácticamente nula (~0.01%). En condiciones de irradiación, el  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  muestra una constante cinética de  $0.14 \pm 0.02 \text{ min}^{-1}$ , aproximadamente 2.8 veces mayor que la del  $\text{TiO}_2$  ( $k = 0.050 \pm 0.007 \text{ min}^{-1}$ ). El análisis cinético indica que la fotodegradación domina el proceso global, siguiendo un modelo de pseudo-primer orden y superando ampliamente la contribución de la adsorción, lo que permite la eliminación completa del contaminante en 30 min de irradiación.

Los resultados de caracterización (Figuras 1b y 1c), obtenidos mediante XRD y SEM, confirman la formación *in situ* de  $\text{BiOCl}$  durante el proceso, evidenciando una transformación estructural dinámica que potencia la actividad fotocatalítica. Las micrografías SEM revelan una morfología laminar tipo hojuelas, mientras que



los patrones de XRD muestran picos característicos de BiOCl, incluso después de 12 ciclos de adsorción-fotodegradación, lo que demuestra la estabilidad estructural del sistema. Asimismo, el pH se identifica como un parámetro crítico, alcanzándose las mayores eficiencias en condiciones ácidas (pH 2–4), donde la especiación de la RhB favorece su interacción con la superficie del material. Bajo estas condiciones, se logra una remoción cercana al 100% tras aproximadamente 30 min de irradiación.



**Figura 1.** a) Cinética de adsorción y fotodegradación para BiOCl y TiO<sub>2</sub> a pH 3, b, c) caracterización del material antes y después de varios ciclos de reacción mediante XRD y SEM.

Este estudio demuestra una estrategia eficiente y sostenible para valorizar residuos mineros mediante la obtención de materiales fotocatalíticos avanzados. La transformación *in situ* de α-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hacia BiOCl en condiciones de reacción genera heteroestructuras dinámicas que potencian el acoplamiento sinérgico entre adsorción y fotodegradación, alcanzando altas eficiencias de remoción en cortos tiempos. El sistema presenta una actividad cinética superior a la del TiO<sub>2</sub> comercial y mantiene su desempeño tras múltiples ciclos, evidenciando alta estabilidad y capacidad de regeneración. Este enfoque surge como una alternativa robusta y escalable para el tratamiento de contaminantes emergentes en agua.

## Referencias

- [1] G.T. Tee, X.Y. Gok, W.F. Yong, , Environ. Res. 212 (2022) 113248. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113248>.
- [2] M.T. Ayala-Ayala, M.Y. Ferrer-Pacheco, J. Muñoz-Saldaña, , J. Therm. Spray Technol. 30 (2021) 1107–1119. <https://doi.org/10.1007/s11666-021-01182-2>.





## Actividad fotocatalítica en el sistema $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--TiO}_2$ : influencia de la composición y el tratamiento térmico.

Sebastián Pérez<sup>a</sup>, Anyi Ramiez<sup>a,b</sup>, Angélica Forgyonny<sup>a</sup>, Nancy Acelas<sup>a</sup>, Juan Muñoz Saldaña<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> Grupo de Investigación Materiales con Impacto (Mat&mpac), Instituto de Ciencias Básicas, Facultad de Ingenierías, Universidad de Medellín, Medellín 050026, Colombia

<sup>b</sup> Nanociencias y Nanotecnología, Departamento de Investigación y Estudios Multidisciplinarios, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Laboratorio Nacional de Proyección Térmica (CENAPROT), Libramiento Norponiente 2000 Fracc. Real de Juriquilla, Querétaro, 76230, México

Email: \*jmunoz@cinvestav.mx

**Palabras clave:** Titanatos de bismuto; Fotoactividad; Heterouniones Reacción en estado sólido

### Resumen

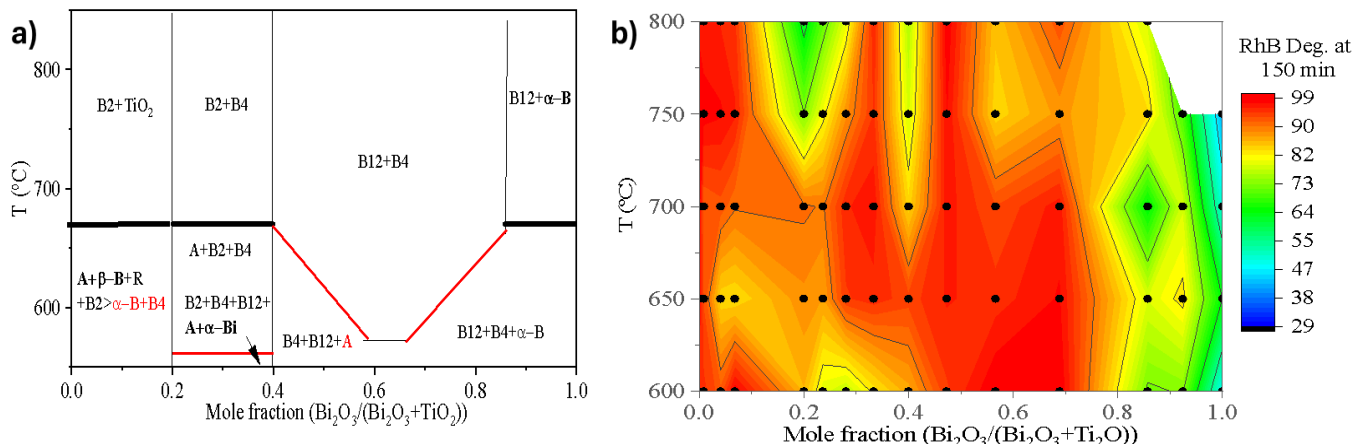
La creciente demanda de tecnologías sostenibles para la remediación ambiental ha intensificado la investigación en materiales fotocatalíticos avanzados capaces de aprovechar la energía solar para la degradación de contaminantes. Entre los diversos semiconductores fotocatalíticos, los compuestos basados en bismuto han emergido como candidatos especialmente prometedores debido a su estructura electrónica singular, su respuesta a la luz visible y su carácter multifuncional [1]. En este contexto, los óxidos de titanatos de bismuto (BTOs) han atraído particular interés no solo por su destacada actividad fotocatalítica, sino también porque ciertas fases exhiben comportamiento ferroeléctrico y piezoelectrico, lo que amplía su potencial hacia aplicaciones en dispositivos electromecánicos y de conversión de energía [2].

Este trabajo muestra una evaluación sistemática de las propiedades fotocatalíticas del sistema  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--TiO}_2$ . Aproximadamente 75 composiciones fueron sintetizadas mediante molienda de alta energía seguida de reacciones en estado sólido, con temperaturas de calcinación entre 400 °C y 800 °C. Este enfoque de una sola etapa permitió la formación de múltiples heterouniones. Los materiales fueron caracterizados mediante difracción de rayos X (DRX) para la identificación de las fases presentes. Por otra parte, el desempeño fotocatalítico se evaluó utilizando Rodamina B (10 mg/L, 40 mL) como contaminante modelo, con una dosis de catalizador de 2 g/L bajo irradiación solar (500–550 W/m<sup>2</sup>).

El análisis de fases por XRD confirmó que en las muestras calcinadas a 600 °C, se desarrollan estructuras complejas de titanatos de bismuto, incluyendo  $\text{TiO}_2/\text{Bi}_2\text{Ti}_4\text{O}_{11}$ ,  $\text{Bi}_2\text{Ti}_4\text{O}_{11}/\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ,  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  y  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}/\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$ . Por debajo de este umbral, los patrones de DRX evidenciaron la presencia residual de  $\alpha,\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$  y  $\text{TiO}_2$  (principalmente anatasa), indicando una difusión incompleta y una transformación de fase limitada a bajos tratamientos térmicos. Estos resultados, resumidos en la Figura 1a, resaltan el papel crítico de la temperatura de calcinación en la promoción del acoplamiento interfacial y la formación de heterouniones dentro del sistema  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--TiO}_2$ .

Los mapas de contorno de la degradación fotocatalítica de Rodamina B en función del tiempo presentados en la Figura 1b, demostraron que las heterouniones, en particular  $\text{TiO}_2/\text{Bi}_2\text{Ti}_4\text{O}_{11}$ ,  $\text{Bi}_2\text{Ti}_4\text{O}_{11}/\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  y  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ , exhiben eficiencias de degradación superiores en comparación con los titanatos de bismuto monofásicos ( $\text{Bi}_2\text{Ti}_4\text{O}_{11}$ ,  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  y  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ ). La configuración óptima correspondió a  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  combinado con 25% en peso de  $\text{Bi}_2\text{Ti}_4\text{O}_{11}$  o  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ .





**Figura 1. a)** Resultados del análisis de fases, donde se muestra la composición de los principales materiales:  $\alpha$ ,  $\beta$ -B indican la presencia de  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  en sus fases alfa y beta, mientras que A y R corresponden a  $\text{TiO}_2$  en sus fases anatasa y rutilo, respectivamente. **b)** Mapas de contorno de la degradación fotocatalítica de Rodamina B en función del tiempo, la composición y la temperatura de calcinación (600–800 °C).

El análisis mecanístico se llevó a cabo mediante el uso de scavenger, isopropanol (IPA) para radicales hidroxilo  $\cdot\text{OH}$ , benzoquinona (BQ) para radicales superóxido ( $\cdot\text{O}_2^-$ ), azida de sodio ( $\text{NaN}_3$ ) para oxígeno singlete ( $^1\text{O}_2$ ), y oxalato de potasio monohidratado ( $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ ) para huecos ( $h^+$ ) [3]. Este experimento reveló rutas diferenciadas: la heterounión  $\text{Bi}_2\text{Ti}_4\text{O}_{11}/\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  favorece la degradación mediante huecos fotogenerados ( $h^+$ ) y radicales superóxido ( $\cdot\text{O}_2^-$ ), mientras que  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  promueve principalmente la interacción de la Rodamina B con  $h^+$  y radicales hidroxilo ( $\cdot\text{OH}$ ), generando residuos carbonosos insolubles observables como precipitados. Estas diferencias se atribuyen a la ingeniería de banda prohibida y al alineamiento escalonado de niveles de energía en las heterouniones, lo que mejora la separación de cargas y suprime la recombinación electrón–hueco.

Este estudio establece, por primera vez, una correlación directa entre composición, evolución de fase y actividad fotocatalítica en el sistema  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{–TiO}_2$ , proporcionando bases sólidas para el diseño racional de fotocatalizadores multifásicos con estructuras de banda ajustadas, orientados a la degradación avanzada de contaminantes y aplicaciones impulsadas por energía solar.

## Referencias

- [1] L. Xiao, W. Gong, Z. hui Long, J. Zhao, D. Zhang, T. Wang, K. Li, A. Navrotsky, }, J. Eur. Ceram. Soc. 45 (2025) 116995. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2024.116995>.
- [2] A. Kumar, P. Sharma, T. Wang, C.W. Lai, G. Sharma, P. Dhiman, R, J. Ind. Eng. Chem. 138 (2024) 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2024.03.054>.
- [3] S. Pérez, A. Vázquez-García, A. Gutiérrez-Pérez, M.T. Ayala-Ayala, M. Boujnah, J. Tapia-P, J.A. Díaz-Real, J. Muñoz-Saldaña, Environ. Res. 289 (2026) 123384. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.123384>.



# Balanceando actividad y estabilidad en catalizadores Cu–Ni soportados: influencia de los parámetros de síntesis y las propiedades redox sobre la actividad y la lixiviación de Cu en POAs

Emerson Burna <sup>a\*</sup>, Narella Pescatore <sup>b</sup>, Erika Dettler <sup>c</sup>, Alejandra Devard <sup>d</sup>, Albana Marchesini <sup>e</sup>

<sup>a\*</sup> [emersonburna@yahoo.com](mailto:emersonburna@yahoo.com), INCAPE-CONICET, Santa Fe, Argentina

<sup>b</sup> [narella.pescatore@gmail.com](mailto:narella.pescatore@gmail.com), INCAPE-CONICET, Santa Fe, Argentina

<sup>c</sup> [erikadettler12@gmail.com](mailto:erikadettler12@gmail.com), INCAPE-CONICET, Santa Fe, Argentina

<sup>d</sup> [alejandradevard@gmail.com](mailto:alejandradevard@gmail.com), INCAPE-CONICET, Santa Fe, Argentina

<sup>e</sup> [albana.marche@gmail.com](mailto:albana.marche@gmail.com), INCAPE-CONICET, Santa Fe, Argentina

**Palabras clave:** Procesos Tipo-Fenton; Catalizadores Bimetálicos Cu-Ni; Combustión Citrato-Nitrato; Contaminantes de Preocupación Emergente.

**Resumen:** Se estudió el desempeño de catalizadores bimetálicos Cu–Ni soportados en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , evaluando la influencia de la relación Cu:Ni y combustible/nitrato (Citrato) sobre la actividad catalítica en POAs. Se evaluó la actividad catalítica, lixiviación de Cu, y propiedades redox mediante TPR. Se observó una fuerte correlación entre la composición metálica, condiciones de síntesis, y su eficiencia catalítica. También se hicieron pruebas de estabilidad.

## Introducción

Los procesos avanzados de oxidación (PAOs) han emergido como estrategias eficaces para la degradación de contaminantes de preocupación emergente en agua, debido a su capacidad para generar especies altamente reactivas de oxígeno. Entre ellos, los sistemas tipo Fenton basados en catalizadores heterogéneos ofrecen ventajas en términos de reutilización y estabilidad operativa (Wang, 2023). Los catalizadores bimetálicos Cu–Ni han despertado interés debido a sus propiedades redox sinérgicas, capaces de mejorar su actividad catalítica.

## Materiales y Métodos

Catalizadores Cu–Ni soportados en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  fueron sintetizados mediante impregnación húmeda, con posterior calcinación a  $400^\circ\text{C}$  utilizando el sistema de combustión  $\text{NO}_3$ /Citrato, variando sistemáticamente las relaciones molares Cu:Ni y las proporciones  $\text{NO}_3$ :Citrato. Los materiales obtenidos fueron caracterizados y evaluados en reactores batch para la degradación de fenol (1000 ppm) utilizando  $\text{H}_2\text{O}_2$  a  $60^\circ\text{C}$ . El desempeño catalítico se evaluó mediante la conversión de fenol y el consumo de oxidante, mientras que la estabilidad se analizó monitoreando la lixiviación de cobre y la evolución del pH durante la reacción.

## Resultados

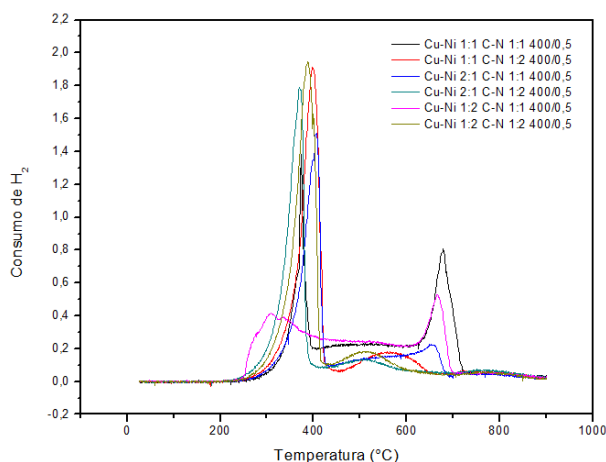
El desempeño catalítico dependió fuertemente tanto de la relación metálica como de las relaciones de combustión. Los catalizadores con altas relaciones Cu:Ni exhibieron una mayor actividad (50-54% de conversión de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , degradación del peróxido con formación radicalaria, por acción catalítica), atribuida a un mejor ciclo redox entre las especies de Cu y Ni. Sin embargo, también mostraron una mayor lixiviación de cobre. El aumento del contenido de comburente ( $\text{NO}_3$ ) durante la síntesis promovió una mayor dispersión y accesibilidad de los sitios activos, lo que condujo a una degradación más rápida del fenol (entre 25 y 30 min) (Bhaumik, 2022). La lixiviación de cobre disminuyó significativamente con relaciones Cu/Ni 1:2, evidenciando un rol fundamental del Ni en la estabilidad estructural de la fase activa. El catalizador con



mejor balance actividad-estabilidad resultó ser Cu-Ni-1:2-C-N-1:2-400/0,5, por su bajo tiempo de conversión de fenol y muy baja lixiviación.

**Tabla 1.** Resultados de evaluación catalítica. Calcinación a 400°C, rampa de 0,5°C/min

| Catalizador               | Tiempo Conv. Fenol 100% (min) | Conversión H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (%) | Cu Lixiviado (%) |
|---------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|------------------|
| Cu-Ni-1:1-C-N-1:1-400/0,5 | 60                            | 36                                           | 21,0             |
| Cu-Ni-1:1-C-N-1:2-400/0,5 | 30                            | 47                                           | 16,1             |
| Cu-Ni-2:1-C-N-1:1-400/0,5 | 30                            | 50                                           | 20,7             |
| Cu-Ni-2:1-C-N-1:2-400/0,5 | 25                            | 54                                           | 34,2             |
| Cu-Ni-1:2-C-N-1:1-400/0,5 | 50                            | 58                                           | 14,7             |
| Cu-Ni-1:2-C-N-1:2-400/0,5 | 30                            | 31                                           | 3,0              |



## Conclusión

Los resultados demuestran que los parámetros de síntesis por combustión y las interacciones Cu-Ni desempeñan un papel clave en el equilibrio entre actividad y estabilidad en catalizadores para PAOs (Liotta 2010). Mayores relaciones Cu/Ni favorecieron la actividad pero también la lixiviación. El catalizador Cu-Ni-1:2-C-N-1:2-400/0,5 mostró el mejor balance actividad-estabilidad, y fue sometido a 3 ciclos para evaluar su estabilidad tras su reutilización.

**Figura 1.** Perfiles de TPR para catalizadores basados en Cu-Ni y sus combinaciones con Citrato.

## Referencias:

- Liotta, L. F. (2010) Catalytic oxidation of volatile organic compounds on supported cobalt oxide catalysts. *Applied Catalysis B: Envir*, 100, (pp 403–412). <https://doi.org/10.3390/w15030398>
- Wang, H., Wang, Y., & Dionysiou, D. D. (2023). Advanced oxidation processes for removal of emerging contaminants in water. *Water*, 15 (3), pp 398. <https://doi.org/10.3390/w15030398>
- Bhaumik, M., Maity, A., Brink H. G. (2022). Metallic nickel nanoparticles supported polyaniline nanotubes as heterogeneous Fenton-like catalyst for the degradation of brilliant green dye in aqueous solution. *Journal of Colloid and Interface Science* Vol. 611 (pp 408-420). <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.11.18>





# **Modelamiento de catalizadores con átomos de metales de transición altamente dispersos (SACs) en soportes carbonosos dopados con N para la reacción de hidrodesoxigenación del guaiacol**

**Jhon Alberto Agudelo Vélez<sup>a\*</sup>, Alejandro Montoya<sup>b</sup>, Ruben Albereto Palacio Olarte<sup>c</sup>**

<sup>a</sup> *jhon.agudelo1@udea.edu.co, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.*

<sup>b</sup> *alejandro.montoya@sydney.edu.au, Universidad de Sydney, Sydney, Australia.*

<sup>c</sup> *ralberto.palacio@udea.edu.co, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.*

**Palabras clave:** Single-atom catalysts (SACs), hidrodesoxigenación catalítica (HDO), guaiacol, Teoría del funcional de la densidad electrónica (DFT).

## **Resumen**

La valorización de la biomasa lignocelulósica - compuesta de lignina, celulosa y hemicelulosa - requiere rutas catalíticas capaces de convertir compuestos oxigenados complejos en productos con un mayor valor agregado, que contengan, en algunos casos, un menor contenido de oxígeno o grupos funcionales específicos para diferentes aplicaciones y, además, que presenten mayor estabilidad para ser utilizados en el sector químico y energético (Karunaratna & Smith, 2020). El guaiacol es un compuesto representativo del bioaceite obtenido del proceso de pirólisis rápida de la biomasa lignocelulósica, rico en compuestos aromáticos oxigenados, lo cual permite evaluar propiedades fisicoquímicas del catalizador en la hidrodesoxigenación para dirigir la ruta de reacción hacia productos de interés como ciclohexanol o aromáticos (fenol, catecol) (Guo et al., 2024). Sin embargo, los catalizadores convencionales para hidrodesoxigenación (HDO) suelen depender de altos contenidos metálicos, presentan selectividad limitada, y son eficientes bajo condiciones severas de operación (Wang et al., 2018). En contraste, los catalizadores de átomos atómicamente dispersos (SACs) ofrecen alta eficiencia atómica, pero su comportamiento depende de forma crítica de la coordinación local, del tipo de soporte y del estado electrónico del centro activo (Perilli et al., 2022; Pan et al., 2023). Este trabajo plantea el estudio y diseño computacional de sitios activos metálicos tipo M-N<sub>4</sub>, anclados en soportes carbonosos conteniendo N con defectos tipo N<sub>4</sub>V<sub>2</sub> para la reacción de HDO de guaiacol.

Para el estudio, se realizó un análisis computacional con DFT de catalizadores tipo SACs conteniendo metales de transición como Ni, Fe (Ni-N<sub>4</sub>, Fe-N<sub>4</sub>), dispersos en una superficie carbonosa tipo grafeno con nitrógeno piridínico; el cual presenta di vacancias de C con nitrógenos adyacentes como defectos superficiales (N<sub>4</sub>V<sub>2</sub>-Gr). El estudio computacional de este tipo de catalizadores empleados para la reacción de hidrodesoxigenación catalítica (HDO) de guaiacol se llevó a cabo mediante cálculos periódicos con VASP y se evaluaron: (i) la estabilidad termodinámica de los catalizadores, (ii) energías de fijación, (iii) energías de adsorción, (iv) las geometrías de adsorción y del catalizador, (v) los estados electrónicos de las especies que componen los catalizadores. Se estudiaron los descriptores electrónicos como: cargas de Bader, PDOS, momentos magnéticos y estados de oxidación de los sistemas catalizador y Adsorbato-Catalizador. Las configuraciones Ni-N<sub>4</sub> muestran las mayores energías de fijación, con un valor de -261,4 kJ \*mol<sup>-1</sup> para la especie con momento magnético cero ( $\mu_B=0$ ), indicando un mayor estabilidad frente a las otras especies de níquel y de hierro. Para el Fe, la especie con momento magnético 2  $\mu_B$ , Fe(II) d<sup>6</sup>, es la más estable y presenta la adsorción de guaiacol más favorable (-49,9 kJ mol<sup>-1</sup>) cuando la molécula se adsorbe a través del grupo -OCH<sub>3</sub> en una configuración planar (8,23° respecto a la superficie). Esta geometría favorece la desmetoxilación directa, generando fenol como intermediario.



El análisis de PDOS y cargas de Bader confirma una fuerte hibridación covalente entre los metales y el soporte. La hibridación para el sistema con Fe presenta una transferencia de carga desde el metal hacia el soporte, con el Fe parcialmente oxidado (carga +1,1 e) y momentos magnéticos reducidos por efecto del campo del ligando como resultado de la interacción de las especies metálicas con el soporte. El fenol producido puede ser un intermediario para la producción de otros compuestos como ciclohexanol o ciclohexano. Por lo tanto, se realizó el estudio de la adsorción del fenol, resultando en una adsorción favorable tanto sobre los catalizadores con fases activas de Ni con momentos magnéticos 1 y 2  $\mu\text{B}$ , así como sobre los de Fe con momento magnético 2  $\mu\text{B}$ . Por otro lado, la reacción de HDO requiere la activación del  $\text{H}_2$ , cuya adsorción y posterior activación se favorece sobre las especies de  $\text{Ni}^0$  con momento magnético asociado 0  $\mu\text{B}$ .

Los resultados sugieren que la preparación de catalizadores con sitios duales de Ni y Fe podrían ser una estrategia prometedora para transformar selectivamente guaiacol a ciclohexanol en la reacción de HDO, combinando sitios altamente oxofílicos (Fe) para la activación y posterior ruptura de enlaces C–O; junto con sitios activos hidrogenantes (Ni) para las etapas posteriores.

## Referencias:

- Guo, Q., Lv, H., Mao, J., & Zhou, J. (2024). Selective hydrodeoxygenation of guaiacol to phenol over CoFe/reduced graphene oxide. *Molecular Catalysis*, 554, 113857. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2024.113857>
- Karunarathna, M. S., & Smith, R. C. (2020). Valorization of Lignin as a Sustainable Component of Structural Materials and Composites: Advances from 2011 to 2019. *Sustainability*, 12(2), 734. <https://doi.org/10.3390/su12020734>
- Pan, Q., Chen, Y., Jiang, S., Cui, X., Ma, G., & Ma, T. (2023). Insight into the active sites of M–N–C single-atom catalysts for electrochemical  $\text{CO}_2$  reduction. *EnergyChem*, 5(6), 100114. <https://doi.org/10.1016/j.enchem.2023.100114>
- Perilli, D., Breglia, R., & Di Valentin, C. (2022). Using Coordination Chemistry Concepts to Unravel Electronic Properties of SACs in Bidimensional Materials. *The Journal Of Physical Chemistry C*, 126(23), 9615-9622. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.2c02307>
- Wang, A., Li, J., & Zhang, T. (2018). Heterogeneous single-atom catalysis. *Nature Reviews Chemistry*, 2(6), 65-81. <https://doi.org/10.1038/s41570-018-0010-1>



## MATERIALES FUNCIONALES Y NANOTECNOLOGÍA APLICADA - MFNA



## Impacto de la configuración de flujo sobre el desempeño de un reactor de membrana para el craqueo de amoníaco

Corchete, Maricel<sup>a</sup>\*, Izurieta, Eduardo M.<sup>b</sup>, Adrover, María E.<sup>c</sup>

<sup>a</sup>*mcorchete@plapiqui.edu.ar, PLAPIQUI (Universidad Nacional del Sur – CONICET), Bahía Blanca*

<sup>b</sup>*eizurieta@plapiqui.edu.ar, PLAPIQUI (Universidad Nacional del Sur – CONICET), Bahía Blanca*

<sup>c</sup>*eadrover@plapiqui.edu.ar, PLAPIQUI (Universidad Nacional del Sur – CONICET), Bahía Blanca*

**Palabras clave:** Reactor de membrana, craqueo de amoníaco, hidrógeno, gas de arrastre

### Resumen

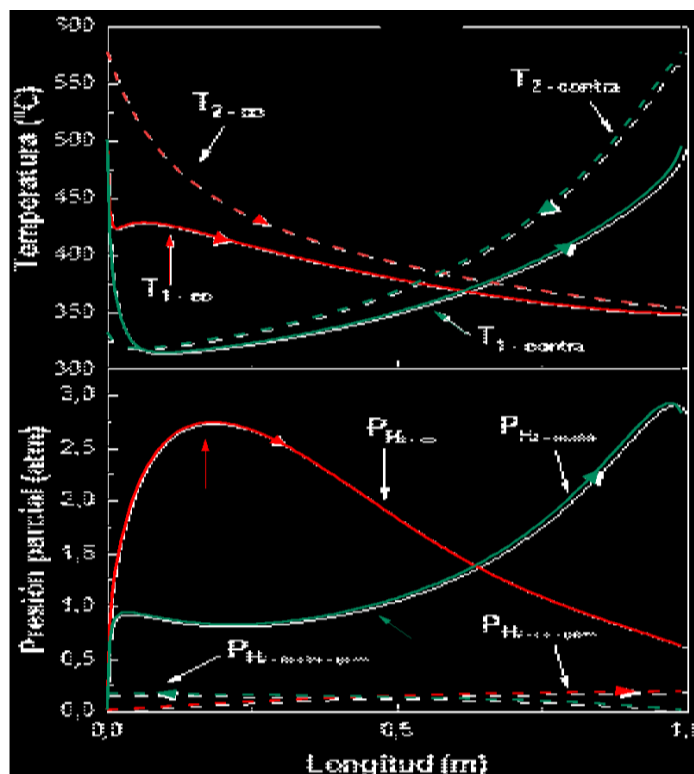
En la actualidad, el hidrógeno se posiciona como un vector energético clave para reemplazar a los hidrocarburos en la transición hacia sistemas más sostenibles. Sin embargo, los desafíos asociados a su almacenamiento y transporte han impulsado el interés en vectores hidrogenados alternativos, como el amoníaco. La descomposición de amoníaco es una reacción endotérmica limitada por el equilibrio químico. En este contexto, el uso de reactores de membrana resulta especialmente ventajoso para la intensificación del proceso, ya que la remoción selectiva de hidrógeno permite desplazar el equilibrio, mejorar la conversión y reducir las emisiones al ambiente de amoníaco sin convertir.

El objetivo de este trabajo es modelar y evaluar el desempeño de un reactor multitubular de membrana con gas de arrastre para la producción de hidrógeno puro a partir de amoníaco ( $2 \text{ NH}_3 \leftrightarrow \text{N}_2 + 3 \text{ H}_2$ ). El reactor es de tipo carcasa ( $d_i=33,33 \text{ cm}$ ,  $L=1 \text{ m}$ ) y tubos (200 tubos,  $d_i=8 \text{ mm}$ ,  $d_e=13,4 \text{ mm}$ ). El lecho catalítico, alojado en la carcasa, se basa en pellets esféricos ( $d=1 \text{ mm}$ ) de Ru-K/CaO (Sayas et al., 2020). Sobre los tubos se deposita una membrana basada en Pd-Ag ( $e=25 \mu\text{m}$ ) altamente selectiva a hidrógeno (Izurieta et al., 2023). Por el interior de los tubos circula vapor de agua a presión atmosférica, que cumple una doble función: mejorar la fuerza impulsora de la permeación y calefaccionar la reacción endotérmica. Se compararon dos configuraciones de flujo diferentes, cocorriente y contracorriente, para evaluar los efectos térmicos asociados y analizar su impacto sobre la recuperación de hidrógeno. Para este fin, se desarrolló un modelo matemático unidimensional y no isotérmico en estado estacionario para el reactor de membrana. Se asume reacción isobárica, sin pérdidas de calor al ambiente y distribución uniforme del flujo en los tubos. Se plantearon los balances de masa y energía correspondientes. La permeación de hidrógeno a través de la membrana se describió mediante la Ley de Sieverts con parámetros obtenidos de la literatura (Adrover et al., 2017). El sistema de ecuaciones diferenciales resultante fue resuelto numéricamente utilizando el software gPROMS.

Los perfiles axiales de temperatura y presión parcial de hidrógeno para ambas configuraciones de operación se presentan en la Figura 1. En ambos casos el reactor opera a conversión prácticamente completa (99 %). En la configuración cocorriente, se observa una caída inicial pronunciada de la temperatura del lado reactivo debido a la elevada velocidad de reacción en la entrada del reactor, seguida por una recuperación térmica impulsada por el intercambio de calor con el gas de arrastre. Este comportamiento conduce a perfiles de temperaturas más suaves y a un mayor control térmico. En contracorriente, el gas de arrastre más caliente entra en contacto con zonas avanzadas del reactor, generando un aumento sostenido de la temperatura. Sin embargo, al inicio del reactor se observa un cruce térmico característico de sistemas endotérmicos calefaccionados a contracorriente (Anzola et al., 2011).







**Figura 1.** Perfiles axiales de temperatura y presión parcial de hidrógeno para ambas configuraciones de flujo.

El análisis de las presiones parciales de hidrógeno muestra diferencias significativas entre ambas configuraciones. En cocorriente, la presión parcial de hidrógeno en el lado retenido alcanza un máximo cerca de la entrada del reactor y luego disminuye, indicando que allí la velocidad de permeación supera a la velocidad de reacción. En contracorriente, la máxima fuerza impulsora para la permeación se desplaza hacia la salida del reactor, asociada al aumento de temperatura y conversión en esa región. Como consecuencia, la configuración cocorriente permite una remoción más eficiente del hidrógeno desde las zonas iniciales del reactor.

En términos globales, la operación en cocorriente presenta un desempeño superior, ya que al alcanzar conversiones cercanas al 99 % tiene una recuperación de hidrógeno del 97,1 %, frente al 81,2 % obtenida en contracorriente. Si bien la configuración contracorriente favorece la transferencia de calor, el mayor incremento térmico en el lado reactivo podría representar una limitación operativa. En conjunto, los resultados demuestran que el reactor de membrana con gas de arrastre operado en cocorriente constituye una alternativa efectiva para intensificar la producción de hidrógeno a partir de amoníaco, combinando alta conversión, elevada recuperación de producto y un mejor control térmico del proceso.

## Referencias

- Sayas, S., Morlanés, N., Katikaneni, S. P., Harale, A., Solami, B., & Gascon, J. (2020). *Catalysis Science & Technology*, 10(15), 5027–5035. <https://doi.org/10.1039/d0cy00686f>
- Izurieta, E. M., Pedernera, M. N., & López, E. (2023). *Latin American Applied Research*, 53(1), 25–30. <https://doi.org/10.52292/j.laar.2023.1090>
- Adrover, M. E., Borio, D., & Pedernera, M. (2017). *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(8), 5139–5149. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.11.075>
- Anzola, A. M., Bruschi, Y. M., López, E., Schbib, N. S., Pedernera, M. N., & Borio, D. O. (2011). *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50, 2698–2705. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.01.175>



## Obtención de biocombustibles valéricos diésel sobre catalizadores de Pt/SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con baja carga metálica

Francisco Martínez<sup>a</sup>, M. Julia Vecchietti<sup>b</sup>, Cristián Ferretti<sup>c</sup>, Darío Segobia<sup>d</sup>, Nicolás Bertero<sup>e,\*</sup>.

<sup>a</sup> fame5184@gmail.com, INCAPE (CONICET), Santa Fe, Argentina

<sup>b</sup> juliavec@gmail.com, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (UNL), INTEC (CONICET), Santa Fe

<sup>c</sup> cferreti@fiq.unl.edu.ar, Facultad de Ingeniería Química (UNL), IQAL (CONICET), Santa Fe, Argentina

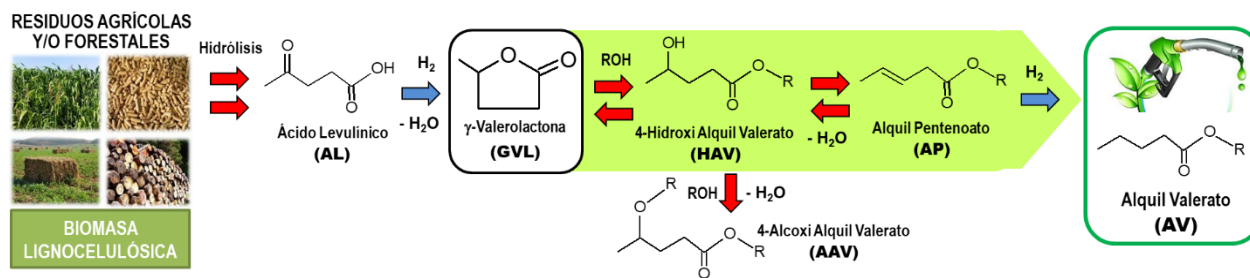
<sup>d</sup> dariojob1@gmail.com, Facultad de Ingeniería Química (UNL), INCAPE (CONICET), Santa Fe, Argentina

<sup>e</sup> nbertero@fiq.unl.edu.ar, Facultad de Ingeniería Química (UNL), INCAPE (CONICET), Santa Fe, Argentina

**Palabras clave:** biocombustibles valéricos; diésel;  $\gamma$ -valerolactona; Pt/SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### Resumen

Un 20-30% de la demanda energética en países desarrollados corresponde al sector del transporte y, actualmente, esa energía proviene en un 90% de fuentes fósiles (IEA, 2025). El agotamiento gradual de estos recursos, la variabilidad en los precios del petróleo por conflictos geopolíticos y el posible efecto climático de las emisiones de gases de efecto invernadero aceleran el desarrollo de nuevas formas de energía más renovables. En este sentido, la biomasa lignocelulósica es la fuente renovable más prometedora debido a su abundancia y precio relativamente bajo. La estrategia para la producción de biocombustibles a partir de biomasa comprende (Figura 1): (a) la deconstrucción de la lignocelulosa en moléculas plataforma como el ácido levulínico (AL) y la  $\gamma$ -valerolactona (GVL); (b) la transformación de estas plataformas en biocombustibles. Entre los productos que se pueden obtener a partir de GVL, los valeratos de alquilo (AV) son considerados biocombustibles atractivos debido a que no son corrosivos, tienen baja polaridad y buena estabilidad a la oxidación. El pentil (PV) y el butil (BV) valeratos tienen un poder calorífico considerable, mejor volatilidad, propiedades de flujo en frío y beneficios de lubricidad respecto a los ésteres metílicos de ácidos grasos y pueden agregarse en cortes diésel fósiles hasta en un 20%, sin impactar en la eficiencia del motor ni en las emisiones (Martínez y col., 2023).



**Figura 1.** Ruta química para la producción de AV desde GVL, ROH e H<sub>2</sub> (🔴 cat. ácido; 🔵 cat. metálico).

La ruta más estudiada para obtener los AV emplea un exceso de alcohol (ROH) e H<sub>2</sub>, e involucra 3 reacciones consecutivas: (1) adición nucleofílica del alcohol (ROH) a GVL sobre sitios ácidos para formar el 4-hidroxi alquil valerato (HAV); (2) deshidratación sobre sitios ácidos del HAV a alquil pentenoato (AP), evitando la formación del 4-alcoxi alquil valerato (AAV) y (3) hidrogenación del AP a alquil valerato (AV) sobre sitios metálicos.

El objetivo de este trabajo es explorar el potencial de catalizadores de Pt(0,3%)/SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para producir PV y BV a partir de GVL, ROH e H<sub>2</sub>, analizando el efecto del precursor de Pt.

Las muestras de Pt/SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fueron preparadas por impregnación a humedad incipiente de SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> comercial (Si/Al=6,06 mol, previamente calcinada a 500 °C por 2 h en aire) con soluciones acuosas de H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub> y Pt(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>. Las muestras impregnadas fueron secadas (100 °C 12 h), calcinadas (450 °C en



aire 3 h) y luego activadas (450 °C en H<sub>2</sub> 2 h), llamándose Pt-C/SA a la preparada a partir de H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub> y Pt-N/SA a la preparada desde Pt(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>, donde SA es SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Las muestras se caracterizaron por: ICP-AES, XRD, sortometría, TPR, TEM, TPD de NH<sub>3</sub> y FTIR de piridina. Los ensayos de actividad catalítica se realizaron en un reactor tanque agitado (100 ml), operado de manera discontinua, cargándose 40 ml de ROH, 1,5 ml de GVL, 0,5 ml de hexadecano (estándar interno) y 250 mg de catalizador. El ROH cumplió la función de solvente y reactivo simultáneamente, siendo la concentración inicial de GVL de 0,37 M, la temperatura de reacción de 250 °C y la presión parcial de H<sub>2</sub> de 10 bar. Se extrajeron del reactor muestras líquidas a tiempos determinados, las cuales fueron filtradas y analizadas por GC.

Los resultados de caracterización y de los ensayos catalíticos se resumen en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Resumen de resultados de caracterización y de actividad catalítica con las muestras Pt/SA.

| Muestra | Carga <sup>(a)</sup><br>Pt<br>(%) | S <sub>BET</sub> <sup>(b)</sup><br>(m <sup>2</sup> /g) | V <sub>P</sub> <sup>(c)</sup><br>(cm <sup>3</sup> /g) | d <sub>M</sub> <sup>(d)</sup><br>(nm) | n <sub>A</sub> <sup>(e)</sup><br>(μmol/g) | L/(L+B)<br><sup>(f)</sup> | ROH = PeOH                                 |                                                         | ROH = BuOH                             |                                                         |
|---------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|         |                                   |                                                        |                                                       |                                       |                                           |                           | X <sub>GV</sub><br>L<br>(%) <sup>(g)</sup> | η <sub>AP</sub> / η <sub>AV</sub><br>(%) <sup>(h)</sup> | X <sub>GVL</sub><br>(%) <sup>(i)</sup> | η <sub>AP</sub> / η <sub>AV</sub><br>(%) <sup>(j)</sup> |
| SA      | -                                 | 460                                                    | 0,74                                                  | -                                     | 445,1                                     | 0,79                      | 57,0                                       | 34,9 / 0                                                | 67,4                                   | 34,1 / 0                                                |
| Pt-C/SA | 0,30                              | 372                                                    | 0,55                                                  | 1,3                                   | 552,9                                     | 0,87                      | 73,8                                       | 2,6 /<br>42,3                                           | 67,1                                   | 6,8 / 35,0                                              |
| Pt-N/SA | 0,33                              | 385                                                    | 0,58                                                  | 2,0                                   | 456,0                                     | 0,83                      | 73,3                                       | 5,3 /<br>40,1                                           | 69,2                                   | 6,2 / 45,0                                              |

(a) Carga metálica por ICP; (b) superficie específica por BET; (c) volumen total de poros por sortometría; (d) tamaño promedio de partículas de Pt por TEM; (e) densidad total de sitios ácidos por TPD de NH<sub>3</sub>; (f) proporción de sitios ácidos de Lewis a 150 °C por FTIR de piridina; (g) conversión de GVL en PeOH; (h) rendimientos molares a AP / AV en PeOH; (i) conversión de GVL en BuOH; (j) rendimientos molares a AP / AV en BuOH.

La carga de ambas muestras bifuncionales fue muy cercana a valor nominal deseado de 0,3%. Tanto los valores de S<sub>g</sub> como los de V<sub>P</sub> evidencian un cierto bloqueo de la estructura microporosa con los precursores de Pt luego de la impregnación. Por XRD no se observaron fases cristalinas de óxidos o de Pt<sup>0</sup> y el tamaño promedio de las cristalitas metálicas de Pt determinado por TEM fue mayor para Pt-N/SA que para Pt-C/SA. Respecto a las propiedades ácidas, la muestra de Pt-C/SA presentó una mayor densidad total de sitios ácidos con una proporción ligeramente mayor de sitios ácidos de Lewis. Esas propiedades parecen afectar de manera diferencial la producción de PV y de BV, dado que cuando la reacción se realizó en PeOH, Pt-C/SA alcanzó una X<sub>GVL</sub> ligeramente superior que Pt-N/SA, mientras que cuando la reacción se llevó a cabo en BuOH la conversión de GVL fue ligeramente superior con Pt-N/SA. Respecto al rendimiento a AV (η<sub>AV</sub>) se observó algo similar, obteniéndose un mayor rendimiento en AV sobre Pt-N/SA en BuOH, mientras que en PeOH se obtuvo mayor rendimiento a AV con Pt-C/SA. Las conclusiones de este trabajo indican que los catalizadores Pt/SA muestran un gran potencial para obtener VP y VB en procesos one-pot desde GVL, ROH e H<sub>2</sub>, logrando productividades a AV entre 11 y 15 (para BV) y entre 10 y 11 veces superiores (para PV) a los informados con catalizadores de Cu.

Se agradece el apoyo de: ASACTEI (CTI en Red), UNL (CAID 2024) y CONICET (Coop. Int.).

## Referencias:

International Energy Agency (IEA) (2025). *World Energy Outlook 2025*. Recuperado de [www.iea.org](http://www.iea.org)

Martínez Figueredo, K.; Martínez, F.; Segobia, D.; Bertero, N. *ChemPlusChem* 88 (2023) e202300381. <https://doi.org/10.1002/cplu.202300381>



## Diseño de catalizadores para minimizar la formación de carbón en la producción de H<sub>2</sub> mediante reformado de etanol con vapor

**Marcela Jaramillo-Baquero<sup>a\*</sup>, John Múnera<sup>a</sup>, Laura Cornaglia<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (CONICET), Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería Química, Santa Fe, Argentina.

Email: <sup>a</sup> [marcela.jaramillobaquero@gmail.com](mailto:marcela.jaramillobaquero@gmail.com)

**Palabras clave:** Hidrógeno, Catalizador bimetálico, Carbón, Energías renovables

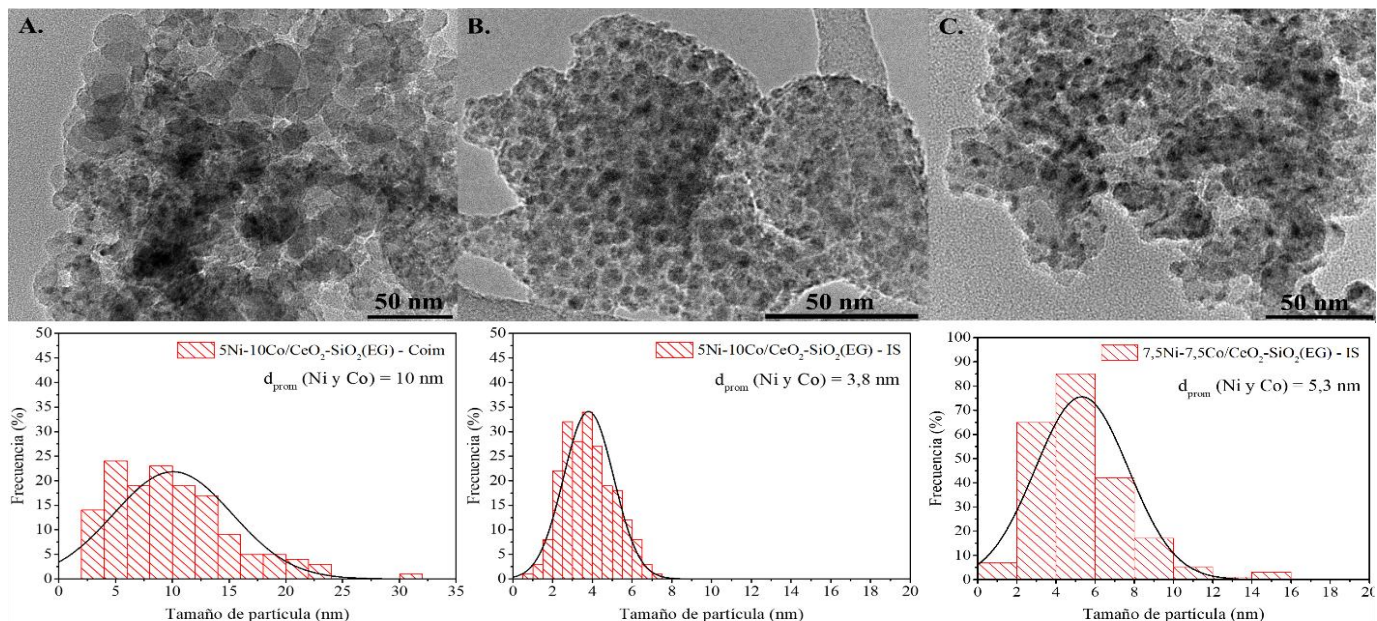
### Resumen

El reformado con vapor de etanol (SRE) constituye una alternativa atractiva para la producción sostenible de hidrógeno a partir de recursos renovables; sin embargo, la desactivación catalítica por formación de depósitos carbonosos continúa siendo una de las principales limitaciones del proceso. En este contexto, el diseño de catalizadores que lo minimicen resulta clave para mejorar la estabilidad y la eficiencia global del proceso. En este trabajo se estudia el desempeño de catalizadores bimetálicos Ni-Co soportados sobre CeO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>, empleando sílice modificada con etilenglicol (EG), con el objetivo de favorecer la dispersión de las fases activas (Jaramillo, 2025). Además, se evaluó el efecto de la composición metálica y del método de síntesis sobre la formación de especies carbonosas durante la reacción. Los catalizadores fueron preparados mediante coimpregnación (Coim) e impregnaciones sucesivas (IS), variando la relación Ni:Co y manteniendo una carga metálica total de 15 %p/p. La caracterización fisicoquímica incluyó difracción de rayos X, TPR y TEM, permitiendo analizar la estructura, reducibilidad y dispersión de las fases activas. Los ensayos catalíticos se llevaron a cabo en un reactor de lecho fijo a 500 °C, empleando una relación molar agua/etanol de 5, mientras que la cuantificación y naturaleza de los depósitos carbonosos se determinaron mediante oxidación a temperatura programada (TPO) y TEM.

Los resultados evidenciaron que el método de síntesis en catalizadores bimetálicos influye significativamente en el tamaño de partícula y dispersión de las fases metálicas. Como se observa en la Figura 1, mediante coimpregnación se generaron partículas de mayor tamaño y con una distribución heterogénea, mientras que los catalizadores sintetizados por IS producen óxidos de Ni y Co menos cristalinos y altamente dispersos, favoreciendo la interacción metal-soporte, observada mediante TEM y TPR. Esto se tradujo en mejores propiedades catalíticas y menor formación de carbón en los materiales obtenidos por IS (Tabla 1).







**Figura 1.** Imágenes TEM de los catalizadores reducidos y distribución de tamaños de partículas. (A) 5Ni-10Co/CeO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>(EG)-Coim, (B) 5Ni-10Co/CeO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>(EG)-IS, (C) 7,5Ni-7,5Co/CeO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>(EG)-IS.

Además, se evidenció que la relación Ni:Co influye en la actividad y resistencia a la desactivación; empleando la composición 7,5Ni-7,5Co-IS se favoreció la reducibilidad de las especies, alcanzando mayor desempeño catalítico. Por su parte, la caracterización mediante TPO mostró que los depósitos carbonosos en estos sistemas poseen un menor grado de grafitización, siendo más fáciles de remover, influenciados a su vez, por la presencia de CeO<sub>2</sub> que favorece la movilidad de oxígeno, promoviendo su gasificación.

**Tabla 1.** Resultados catalíticos obtenidos en los diferentes sistemas evaluados.

| <sup>a</sup> Catalizador                               | X <sub>C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH</sub> | <sup>b</sup> Distribución de productos % (8h) |     |                 |                 |                     | <sup>c</sup> Y <sub>H<sub>2</sub></sub><br>(8h) | Carbón<br>(g <sub>c</sub> g <sub>cat</sub> <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----|-----------------|-----------------|---------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
|                                                        |                                           | H <sub>2</sub>                                | CO  | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | CH <sub>3</sub> COH |                                                 |                                                                            |
| 15Co/CeO <sub>2</sub> -SiO <sub>2</sub> (EG)           | 85                                        | 69,9                                          | 4,3 | 18,2            | 1,6             | 6,1                 | <sup>e</sup> 2,1                                | 7,69 x 10 <sup>-3</sup>                                                    |
| 5Ni/CeO <sub>2</sub> -SiO <sub>2</sub> (EG)            | 100                                       | 62,7                                          | 9,6 | 16,9            | 8,8             | 2,0                 | <sup>e</sup> 3,1                                | 1,37 x 10 <sup>-3</sup>                                                    |
| 5Ni-10Co/CeO <sub>2</sub> -SiO <sub>2</sub> (EG)-Coim  | 91                                        | 68,9                                          | 3,0 | 18,7            | 1,8             | 7,5                 | 2,4                                             | 2,50 x 10 <sup>-3</sup>                                                    |
| 5Ni-10Co/CeO <sub>2</sub> -SiO <sub>2</sub> (EG)-IS    | 100                                       | 67,8                                          | 7,4 | 19,2            | 2,7             | 2,9                 | 2,8                                             | 1,16 x 10 <sup>-3</sup>                                                    |
| 7,5Ni-7,5Co/CeO <sub>2</sub> -SiO <sub>2</sub> (EG)-IS | 100                                       | 69,5                                          | 6,7 | 19,7            | 2,4             | 1,8                 | 4,0                                             | 1,27 x 10 <sup>-3</sup>                                                    |

<sup>a</sup> Condiciones de evaluación: T<sub>R</sub>= 500°C, R=5, W/F=4,9x10<sup>-3</sup> g h L<sup>-1</sup>. <sup>b</sup> No se detectó etileno en los productos, distribución de productos calculada en base seca. <sup>c</sup> Rendimiento a hidrógeno = molH<sub>2</sub>/molC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH.

En conjunto, estos resultados demuestran que la formulación bimetalica y el método de preparación constituyen variables claves para el diseño de catalizadores más robustos frente a la formación de carbón, permitiendo avanzar hacia procesos más estables y eficientes para la producción de hidrógeno a partir de etanol.

## Referencias

Jaramillo-Baquero, Dieuzeide, M.L, M, Múnera, J, Cornaglia, L. (2025). *Chemical Engineering Journal*, 523, 168482. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.168482>





# Optimización de electrocatalizadores anódicos de PtRe mediante el uso de soportes carbonosos derivados de biomasa funcionalizados para celdas de combustible de etanol directo.

**María Florencia Azcoaga Chort<sup>a\*</sup>, Virginia I. Rodríguez<sup>b</sup>, Natalia S. Veizaga<sup>c</sup>**

<sup>a</sup> *fazcoaga@fiq.unl.edu.ar, INCAPE, UNL-CONICET, Santa Fe 3000, Argentina.*

<sup>b</sup> *virodri@fiq.unl.edu.ar, INCAPE, UNL-CONICET, Santa Fe 3000, Argentina.*

<sup>c</sup> *nveizaga@fiq.unl.edu.ar, INCAPE, UNL-CONICET, Santa Fe 3000, Argentina.*

**Palabras clave:** cáscara de arroz, método hidrotermal, funcionalización química, DEFC

## Resumen

Se han investigado diversos materiales como soporte para catalizadores anódicos en celdas de combustible de etanol directo (DEFC), destacándose los materiales carbonosos. En particular, el carbón activado presenta alta área superficial y porosidad controlada, y su obtención a partir de residuos agrícolas constituye una alternativa económica y sostenible. En nuestra región, la cáscara de arroz resulta un precursor relevante por su abundancia y bajo aprovechamiento. Además, la funcionalización química permite incorporar grupos ácidos en la superficie, generando defectos que favorecen una dispersión más homogénea de las nanopartículas metálicas.

En este trabajo se sintetizó carbón activado por vía hidrotermal (HTC) utilizando ácido fosfórico y se funcionalizó con  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  y urea. Los soportes obtenidos se emplearon para preparar electrocatalizadores anódicos de PtRe, los cuales fueron caracterizados junto con los soportes mediante fisisorción de  $\text{N}_2$ , quimisorción de  $\text{H}_2$  y reducción a temperatura programada (TPR). Asimismo, se realizaron evaluaciones electroquímicas en semicelda de tres electrodos y en una celda prototipo.

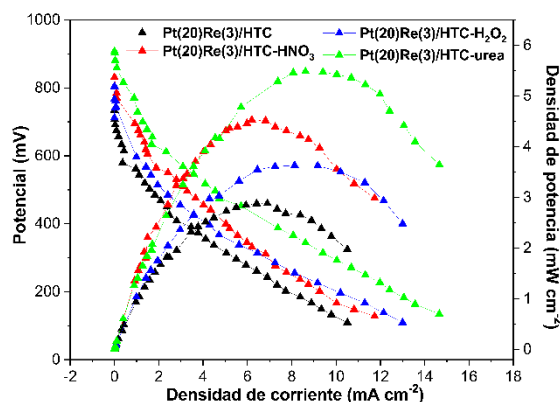
Para la síntesis del soporte, se colocó la cáscara de arroz en una autoclave de teflón con una solución de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  al 23 %p/p. Se mantuvo la mezcla en estufa a 200 °C durante 24 h. Luego se secó en aire por 2 días y se realizó una pirólisis del material bajo flujo de  $\text{N}_2$  a 750 °C durante 2 h. El HTC fue funcionalizado químicamente mediante oxidación con  $\text{HNO}_3$  (5 M, 70 °C, 3 h) o  $\text{H}_2\text{O}_2$  (30 %v/v, 48 h), seguido de filtrado, lavado y secado a 110 °C en ambos casos. A su vez, el carbón pre-oxidado con  $\text{HNO}_3$  se trató con urea y se carbonizó a 850 °C bajo atmósfera de  $\text{N}_2$ . Los catalizadores se prepararon mediante el método del poliol utilizando etilenglicol (EG) como agente reductor. El soporte se dispersó en una solución de agua:EG (25:75 %v/v) y se ultrasonificó durante 30 min. Luego, se agregó la cantidad necesaria de los precursores de Pt y Re. La mezcla se mantuvo en condiciones de reflujo durante 2 h. Finalmente, se filtró, lavó con agua destilada y secó a 110 °C durante 12 h. Las cargas nominales de Pt y de Re fueron de 20 y 3 %p/p, respectivamente. Los catalizadores se presentarán como Pt(20)Re(3)/X, donde la X indica el soporte.

El análisis de isothermas de adsorción-desorción mostró que todos los soportes presentan isothermas tipo II con histéresis H4 (IUPAC), evidenciando micro y mesoporosidad. Las curvas de TPR exhibieron un pico entre 550-600 °C, asociado a la reducción de grupos funcionales ácidos; en HTC-urea, este se vincula además a especies nitrogenadas. En los catalizadores, no se observaron picos en las regiones características de reducción de Pt y Re, indicando que ambos metales se encuentran mayoritariamente en estado metálico. Las capacidades quimisortivas de  $\text{H}_2$  fueron similares para los catalizadores basados en HTC, HTC- $\text{HNO}_3$  y HTC- $\text{H}_2\text{O}_2$ , mientras que el de HTC-urea mostró un leve incremento, atribuible a la presencia de grupos funcionales y su influencia en la interacción metal-soporte. A partir del stripping de CO,



se determinaron los valores de área electroactiva (EASS) y el potencial de inicio de oxidación de CO ( $E_{CO,ONSET}$ ). Se evidenció que los catalizadores preparados sobre soportes funcionalizados presentaron un incremento del EASS entre el 5 y el 26 % en comparación con el soportado sobre HTC original; no obstante, la funcionalización no afectó significativamente los valores de  $E_{CO,ONSET}$ . Por otro lado, los voltamperogramas cíclicos revelaron que las modificaciones de los soportes mejoran sustancialmente el rendimiento en la electrooxidación de etanol, siendo este efecto particularmente notable en el sistema Pt(20)Re(3)/HTC-urea. Las pruebas de cronoamperometría confirmaron esta tendencia: tras un descenso inicial de la corriente, este material alcanzó la mayor intensidad en estado estacionario. En conclusión, el catalizador Pt(20)Re(3)/HTC-urea presentó el desempeño global en semicelda, con un valor de igual a  $182,6 \text{ m}^2 \text{ gPt}^{-1}$ , una corriente de pico de  $1128 \text{ mA mgPt}^{-1}$  y una corriente final de  $52 \text{ mA}$ . En cuanto a las mediciones en la celda prototipo a los catalizadores sobre soportes funcionalizados exhibieron valores de potencial a circuito abierto y densidad de potencia superiores al soportado sobre HTC. El sistema Pt(20)Re(3)/HTC-urea mostró el desempeño, alcanzando un valor de OCV igual a  $908 \text{ mV}$  y una densidad de potencia máxima de  $5,5 \text{ mW cm}^{-2}$  concordancia con los resultados obtenidos en la semicelda.

Con los resultados de caracterización presentados, puede concluir que el catalizador Pt(20)Re(3)/HTC-urea exhibe el mejor desempeño electrocatalítico entre los catalizadores evaluados en este estudio.



**Fig 1.** Curvas de polarización y densidad de potencia de los catalizadores Pt(20)Re(3) sobre HTC, HTC-HNO<sub>3</sub>, HTC-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y HTC-urea evaluados a 60 °C.

## Referencias:

- Choudhary, A.K. & Pramanik, H. (2020). *International Journal of Hydrogen Energy* 45, 13300–13321. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.03.044>.
- Quesada-Plata, F., Ruiz-Rosas, R., Morallón, E. & Cazorla-Amorós, D. (2016). *ChemPlusChem* 81, 1349–1359. <https://doi.org/10.1002/cplu.201600412>.



# **Empleo de un catalizador anfílico en la producción de precursores de SAF a partir de derivados biomasa lignocelulósica.**

**Juan Manuel Gimenez<sup>a\*</sup>, Lucas Gabriel Tonutti<sup>a</sup>, Claudia Neyertz<sup>a</sup>, Cristian Ferretti<sup>b</sup>, Carlos Querini<sup>a</sup>, María Soledad Zanuttini<sup>a</sup>.**

<sup>a</sup> \*jmgimenez@fiq.unl.edu.ar, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE-CONICET-UNL) - Grupo de Investigación en Productos Renovables y Catálisis (GIPREC), Santa Fe.

<sup>b</sup> cferretti@fiq.unl.edu.ar, Instituto de Química Aplicada del Litoral (IQAL, CONICET-UNL), Santa Fe.

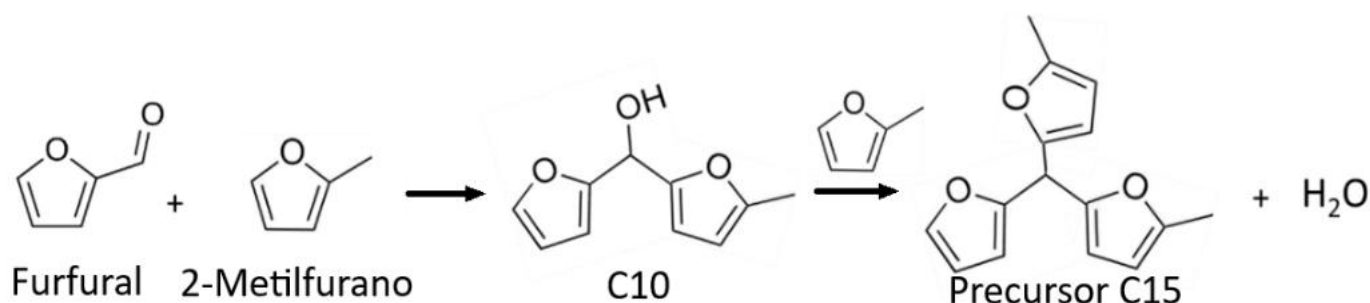
**Palabras clave:** combustible de aviación sostenible, acoplamiento C-C, furfural, 2-metilfurano.

## **Resumen**

La transición energética en la aviación plantea un desafío ya que las alternativas a los combustibles fósiles aún son limitadas. En este sentido, la producción de combustibles sostenibles para aviación (SAF) a partir de biomasa lignocelulósica es una opción estratégica por su abundancia y carácter renovable. Para ello es necesario el desarrollo de sistemas catalíticos que permitan transformar compuestos oxigenados livianos como furfural (FUR) y 2-metilfurano (MF) en compuestos de alto número de C aptos para aviación [1]. La reacción de hidroxialquilación/alquilación (HAA), permite formar enlaces C-C y generar compuestos intermedios de 10-15 carbonos, los cuales pueden hidrogenarse posteriormente a alcanos. Materiales mesoporosos SBA-15 funcionalizados con grupos propilsulfónicos han mostrado buen desempeño en HAA, aunque su eficacia puede verse afectada por la polaridad del medio y la presencia de agua (producto inherente), que puede desactivar los sitios ácidos [1]. Por lo tanto, en este estudio se evaluó la incorporación de grupos hidrofóbicos, como cadenas alquílicas, en catalizadores ácidos con el fin de modular sus propiedades interfaciales, aumentar su estabilidad en medios acuosos y favorecer la interacción selectiva con los reactivos [2]. Se plantea que un balance adecuado entre acidez e hidrofobicidad permitiría obtener materiales anfílicos capaces de ubicarse en la interfase de fases polares y no polares [2], mejorando su desempeño en la reacción HAA para la obtención de un compuesto C15, precursor de jet fuel (Figura 1). Con este objetivo, se empleó SBA-15 como soporte al cual se le incorporaron, por co-condensación asistida por microondas, grupos ácidos propil sulfónicos (S) con grupos octilo (Oc) en diferentes combinaciones (tabla 1) [2]. Las pruebas catalíticas de reacción entre FUR y MF se llevaron a cabo en un reactor de vidrio sellado de 10 mL, sin solvente, en agitación y control de temperatura. Los productos se analizaron por cromatografía gaseosa (FID). El catalizador con mejor desempeño fue seleccionado para un estudio más profundo del efecto de las variables principales (tiempo, temperatura, relación molar de sitios ácidos y furfural: Sit/FUR y relación molar de reactivos: MF/FUR) y su estabilidad [2]. Estudios de caracterización (EDX, TEM, sortometría) demostraron una buena incorporación de grupos ácidos y que el agregado de grupos hidrofóbicos aumenta el grosor de las paredes de los poros del material manteniendo las propiedades texturales. Asimismo, se confirmó carácter hidrofóbico por medio de ángulo de contacto [2]. La comparación entre los diferentes materiales evaluados en reacción mostró que S(7,5)Oc(7,5) presentó la mejor conversión ( $X \sim 79\%$ ) y selectividad ( $S\text{-C15} \sim 97\%$ ) hacia el producto deseado (C15) (tabla 1). Sobre este catalizador, se aplicó un diseño experimental basado en metodología de superficie de respuesta, los factores más relevantes fueron la relación MF/FUR y el tiempo de reacción, seguidos por la temperatura. Además, se observó que el rendimiento ( $Y\text{-C15}$ ) aumenta, junto al aumento del valor de las variables, hasta alcanzar un máximo, a partir del cual no mejora o tiende a generar subproductos. Se identificaron las condiciones óptimas para el máximo rendimiento (120 min, 70 °C, Sit/FUR = 2,34 mmol/mol, MF/FUR = 2 mol/mol), las cuales fueron corroboradas experimentalmente ( $Y\text{-C15} = 97\%$ ). Por otro lado, para este mismo



material, se observó que la adición de un 5% de agua inicial redujo la conversión en aproximadamente un 80%, evidenciando la sensibilidad a la presencia de agua. No obstante, los catalizadores funcionalizados con grupos octilo mostraron una mayor tolerancia al agua que aquellos reportados con grupos metilo [1]. Por último, estudios de reutilización mostraron que la conversión baja ~ 7 % en el cuarto ciclo manteniendo la selectividad a C15. En conclusión, la incorporación de grupos octilo confiere a los materiales un carácter anfílico que mejora su rendimiento en medios con contenido de agua, marcando la importancia de ajustar las propiedades de los materiales para lograr catalizadores eficientes y estables. Los resultados completos fueron publicados en [2], constituyendo un avance relevante en tecnologías SAF a partir de biomasa.



**Figura 1.** Esquema de reacción HAA entre furfural y 2-metilfurano hacia precursores de jetfuel.

**Tabla 1.** Desempeño de catalizadores con grupos propilsulfónicos y octilos.

| Catalizador   | %X    | %S-C15 | %Y-C15 | %S-C10 | %S-Otros |
|---------------|-------|--------|--------|--------|----------|
| S(10)         | 48,00 | 95,80  | 45,98  | 3,00   | 1,20     |
| S(10)Oc(7,5)  | 76,75 | 96,44  | 73,88  | 2,33   | 1,22     |
| S(10)Oc(5)    | 77,51 | 96,97  | 75,16  | 2,06   | 0,97     |
| S(7,5)Oc(7,5) | 78,87 | 97,00  | 76,51  | 1,9    | 1,29     |

## Referencias

- [1] Zanuttini, M. S., Tonutti, L. G., Neyertz, C. A., Ferretti, C., Sanchez, B. S., Dalla Costa, B. O., & Querini, C. A. (2023). Production of a high molecular weight jet-fuel precursor from biomass derived furfural and 2-methylfuran using propyl sulfonic SBA-15 catalysts. *Applied Catalysis A: General*, 665, 119383. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2023.119383>
- [2] Gimenez, J. M., Tonutti, L. G., Neyertz, C. A., Ferretti, C. A., Querini, C. A., & Zanuttini, M. S. (2026). Hydroxyalkylation/alkylation of furfural and 2-methylfuran over functionalized SBA-15: tuning acidity and hydrophobicity for SAF precursor production. *Fuel*, 421, 139107. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2026.139107>





# Uso de Co/SiO<sub>2</sub> para la producción de aditivo combustible 2-metilfurano a partir de furfural derivado de biomasa en fase líquida.

**Juan Manuel Gimenez<sup>a\*</sup>, Nicolas Bertero<sup>a</sup>, Claudia Neyertz<sup>a</sup>, Cristian Ferretti<sup>b</sup>, Carlos Querini<sup>a</sup>, María Soledad Zanuttini<sup>a</sup>.**

<sup>a</sup> \*jmgimenez@fiq.unl.edu.ar, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE-CONICET-UNL) - Grupo de Investigación en Productos Renovables y Catálisis (GIPREC), Santa Fe.

<sup>b</sup> cferretti@fiq.unl.edu.ar, Instituto de Química Aplicada del Litoral (IQAL, CONICET-UNL), Santa Fe.

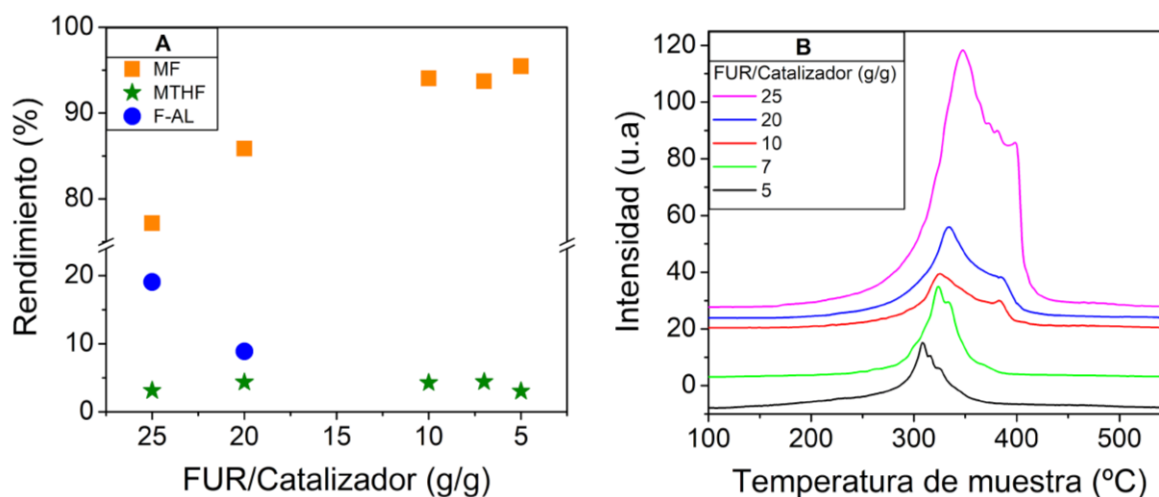
**Palabras clave:** biofuel, furfural, 2-metilfurano, biomasa.

## Resumen

Mediante la optimización de rutas de reacciones químicas la molécula de furfural (FUR), derivada de biomasa lignocelulósica, puede convertirse en productos de alto octanaje y baja polaridad, útiles en la mejora de calidad de las naftas [1]. El 2-metilfurano (MF), obtenido por hidrodesoxigenación catalítica (HDO) de FUR, se destaca como candidato [1]. Asimismo, la producción de MF resulta relevante en el desarrollo de procesos para la obtención de Combustibles Sostenibles de Aviación (SAF). En este contexto, MF y FUR pueden combinarse para formar moléculas de mayor tamaño ( $\approx C_{15}$ ), compatibles con las fracciones típicas de combustibles de aviación [2]. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos para la reacción de HDO de MF a partir de FUR en fase líquida y condiciones moderadas con un catalizador de 7,7% de Co sobre SiO<sub>2</sub> [3]. Este catalizador fue seleccionado en base a un estudio previo en el que se evaluaron varios catalizadores de metales soportados. Luego de la activación (H<sub>2</sub> - 400 °C - 2 h), se evaluó su actividad catalítica en un reactor discontinuo de alta presión tipo Parr. Se empleó una relación FUR/catalizador inicial de 5 g/g, bajo atmósfera de H<sub>2</sub> (2,75 - 3,75 MPa) a 170 - 190 °C durante 2 - 6 horas. Utilizando furfural comercial (Merck) y butil-acetato como solvente (0,74 mol FUR/l), con un volumen final de 20 ml. Los productos se siguieron por cromatografía gaseosa y detector FID. Al variar la temperatura, se observó un máximo de 95 % de selectividad a MF a 180 °C. Menores temperaturas favorecieron la descarbonilación, reflejado en la presencia de furano, mientras que temperaturas más elevadas promovieron la hidrogenación del anillo furánico observándose 2-metiltetrahidrofurano (MTHF). Por otro lado, se alcanzó una conversión total incluso a la mayor relación FUR/Catalizador estudiada, es decir, a la menor carga de catalizador (25 FUR/Catalizador, figura 1). Esta última equivale a 0,8 % de catalizador en el sistema reaccionante. En consecuencia, el desempeño estuvo determinado por la selectividad y la estabilidad del catalizador. Con el aumento de FUR, el rendimiento a MF disminuyó, incrementándose la formación del intermediario alcohol furfurílico (F-AL) [4], en especial, a partir de 20 FUR/Catalizador se volvió más significativa. Al mismo tiempo, la selectividad hacia MTHF disminuyó, lo que sugiere que la hidrogenación ocurre primero sobre el grupo carbonilo, generando F-AL, y luego sobre el anillo del MF. No se detectó formación de alcohol tetrahidrofurfurílico, lo que indica una alta selectividad del catalizador hacia la ruta de formación de MF. Asimismo, el análisis de oxidación a temperatura programada (TPO) del catalizador usado mostró un incremento en el depósito de carbono con la mayor carga de reactivo (12 %C - 20 FUR/catalizador y 37 %C - 25 FUR/catalizador) [1]. Por otro lado, no se detectó Co en el producto de reacción medido por plasma con acoplamiento inductivo (ICP), lo que indica que la desactivación se debe principalmente a la deposición de carbono. Finalmente, las evaluaciones del tiempo de reacción y la presión inicial de H<sub>2</sub> bajo condiciones de alta carga de FUR, demostraron que el aumento de la presión de H<sub>2</sub> o del tiempo favorece la hidrogenación hacia la vía deseada, incrementando notablemente la formación de MF. En conjunto, los ensayos realizados muestran que el catalizador Co(7,7)/SiO<sub>2</sub> alcanzó un rendimiento del 95 % hacia 2-metilfurano, con conversión total de furfural y baja formación de depósitos carbonosos (8 %C). Estos



resultados se lograron a 180 °C, 3,75 MPa de H<sub>2</sub>, durante 5 horas de reacción y una relación 10 FUR/catalizador (Figura 1). Además, se realizaron ciclos de reutilización del catalizador. En conclusión, los sistemas basados en metales no nobles como el cobalto constituyen una alternativa para procesos de valorización de biomasa, contribuyendo al desarrollo de rutas sostenibles para la producción de biocombustibles líquidos.



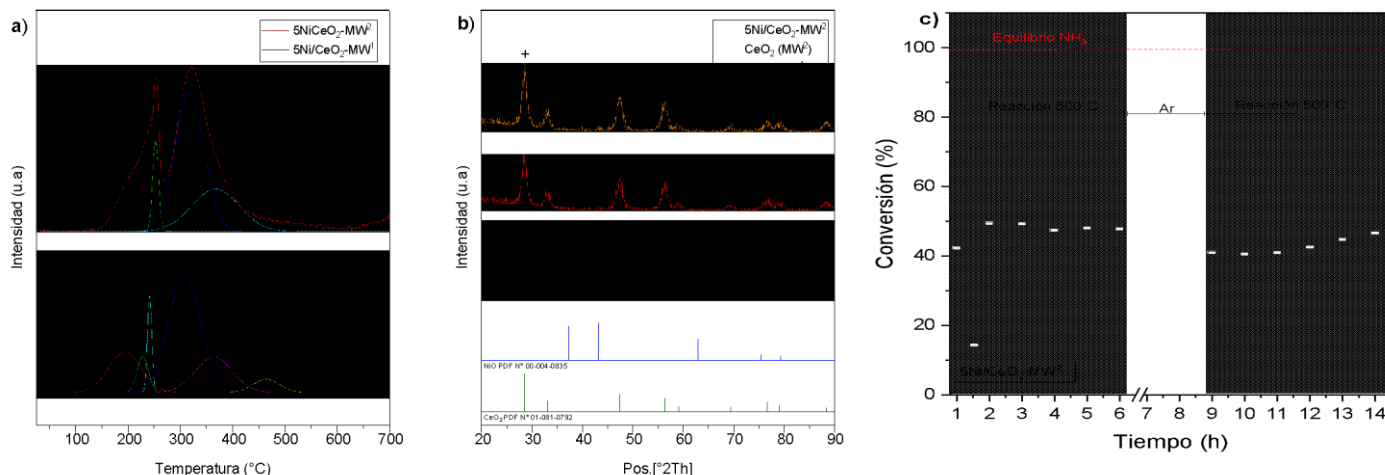
**Figura 1.** Resultados a 5h-180°C-3,75 MPa. A) Rendimiento vs carga. B) Perfiles de TPO vs carga.

## Referencias

- [1] Zanuttini, M. S., Gross, M., Marchetti, G., & Querini, C. (2019). *Applied Catalysis A: General*, 587, 117217. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2019.117217>
- [2] Gimenez, J. M., Tonutti, L. G., Neyertz, C. A., Ferretti, C. A., Querini, C. A., & Zanuttini, M. S. (2026). *Fuel*, 421, 139107. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2026.139107>
- [3] Bertero, N. M., Apesteguía, C. R., & Marchi, A. J. (2022). *Chemical Engineering Science*, 254, 117629. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2022.117629>
- [4] Gong, X., Li, N., Li, Y., & Hu, R. (2022). *Molecular Catalysis*, 531, 112651. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2022.112651>







**Figura 1.** Caracterización de los catalizadores sintetizados. (a) perfiles H<sub>2</sub>-TPR. (b) Patrones de difracción (XRD). (c) Conversión de NH<sub>3</sub> y prueba de estabilidad durante 14 horas. Condiciones de reacción: GHSV = 30.000 ml·h<sup>-1</sup>·g<sub>cat</sub><sup>-1</sup>.

Se realizó la caracterización de las muestras, evidenciándose diferencias en el área específica, el tamaño de cristalita y el volumen de poro, lo que permitió establecer la influencia del método de preparación sobre las propiedades fisicoquímicas de los sólidos. El catalizador 5Ni/CeO<sub>2</sub>-MW<sup>2</sup>, fue el que presentó mayor área específica, favoreciendo una mayor dispersión de la fase activa. Por otro lado, los perfiles de H<sub>2</sub>-TPR mostraron un desplazamiento hacia temperaturas ligeramente más altas, lo que sugiere una interacción más fuerte entre el metal y el soporte (Chen, 2023). Finalmente, los patrones de DRX confirman la presencia de los picos característicos de CeO<sub>2</sub> señalados con (+), y los picos marcados con (\*) se atribuyen a especies de NiO (Figura 1). El catalizador 5Ni/CeO<sub>2</sub>-MW<sup>2</sup> presentó el menor tamaño de cristalita (Tabla 1), estos resultados, se pueden atribuir al uso de la sal precursora empleada en la síntesis.

La evaluación catalítica se llevó a cabo en un reactor de lecho fijo a presión atmosférica a 500°C. Los catalizadores fueron diluidos en cuarzo (malla 70 mesh) en una relación 1:1, con una alimentación de NH<sub>3</sub>:Ar = 1:4. El catalizador Ni/CeO<sub>2</sub>-MW<sup>2</sup>, presentó actividad catalítica, alcanzando una conversión cercana al 50% en condiciones de reacción (Figura 1c). Estos resultados son superiores a los reportados en la literatura, para catalizadores de Ni soportados en CeO<sub>2</sub>. En este sentido, Chen et al. (Chen, 2023) reportaron conversiones de ~25 % a 500 °C, operando a las mismas condiciones de reacción empleadas en este trabajo. Asimismo, se realizó una prueba de estabilidad durante 14 h, en la cual, el sistema catalítico presentó un comportamiento estable, sin variaciones significativas en la reacción de descomposición de NH<sub>3</sub>.

## Referencias

- Chen, C., Fan, X., Zhou, C., Lin, L., Luo, Y., Au, C., Cai, G., Wang, X., & Jiang, L. (2023). Hydrogen production from ammonia decomposition over Ni/CeO<sub>2</sub> catalyst: Effect of CeO<sub>2</sub> morphology. *Journal of Rare Earths*, 41(7), 1014–1021. <https://doi.org/10.1016/j.jre.2022.05.001>
- Pan, C., Zhang, D., & Shi, L. (2008). CTAB assisted hydrothermal synthesis, controlled conversion and CO oxidation properties of CeO<sub>2</sub> nanoplates, nanotubes, and nanorods. *Journal of Solid State Chemistry*, 181(6), 1298–1306. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2008.02.011>







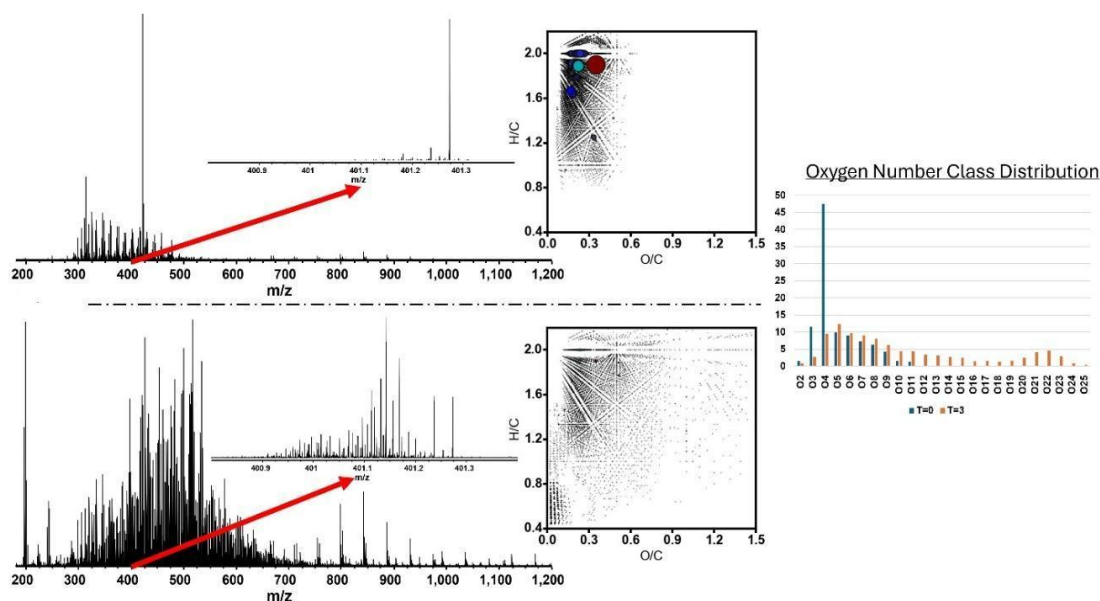
mostraron una alta correlación entre la reducción de absorbancia UV-Vis y la disminución de la DQO, validando el uso de técnicas espectrofotométricas como herramientas rápidas de seguimiento del proceso.

Los resultados experimentales evidenciaron una clara dependencia del desempeño electroquímico con la gravedad API del crudo. Los crudos menos pesados presentaron mayores tasas de producción de hidrógeno, alcanzando valores de hasta 1,8 cm<sup>3</sup>/min después de 6 horas de operación, así como mayores eficiencias de remoción de materia orgánica, con reducciones de DQO del 72 %, 62 % y 56 % para crudos de 29, 21 y 17 °API, respectivamente, el resumen se muestra en la Tabla 1.

Estos hallazgos confirman que la complejidad química y el contenido de fracciones pesadas influyen significativamente en los mecanismos de ruptura y degradación electroquímica. Adicionalmente, el análisis mediante FT-ICR MS de las muestras de aguas de producción, representado en el diagrama de van Krevelen (H/C vs. O/C) (Lozano et al., 2019) **Figura 1**, mostró los siguientes resultados. En T = 0, las fórmulas moleculares se concentraron en una región de H/C elevado y O/C bajo, con predominio de la clase O<sub>2</sub> (moléculas con dos átomos de oxígeno). Para un mayor tiempo de exposición (proceso batch) la oxidación se favorece (continúa en el tiempo), el diagrama se extendió hacia valores sustancialmente mayores de O/C y cubrió un rango más amplio de H/C, con aparición de compuestos que alcanzan hasta 25 átomos de oxígeno por molécula.

Los resultados del FT-ICR MS permitieron establecer que las especies remanentes al final del proceso no corresponden a crudo emulsionado disperso en el agua, sino a materia orgánica disuelta (MOD) de mayor peso molecular. Desde el punto de vista de aplicabilidad e impacto, el proceso propuesto puede integrarse como una etapa secundaria en sistemas de tratamiento de aguas de producción, permitiendo la recuperación simultánea de hidrógeno verde y la reducción de contaminantes.

Las evaluaciones preliminares de sostenibilidad indican un potencial significativo de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente frente a esquemas convencionales de electrólisis y tratamiento físico-químico. En conclusión, los resultados demuestran la viabilidad técnica y ambiental del proceso, con perspectivas claras de optimización futura mediante ajustes de pH y la incorporación de aditivos electrocatalíticos, especialmente orientados a mejorar su desempeño en crudos más pesados.



**Figura 1.** Caracterización molecular de la materia orgánica residual (FT-ICR MS — MagLab)



**Tabla 1. Resumen de resultados**

| Medida                                     | M1     | M2     | M3     |
|--------------------------------------------|--------|--------|--------|
| API                                        | 29     | 21     | 17     |
| Salmuera [M]                               | 0.25   | 0.25   | 0.25   |
| Potencial [V]                              | 3.7    | 3.7    | 4.03   |
| Densidad de Corriente [A/cm <sup>2</sup> ] | 0.0145 | 0.0145 | 0.0145 |
| DQO 0.6 h                                  | 49     | 30     | 25     |
| DQO 1 h                                    | 71     | 59     | 49     |
| DQO 3 h                                    | 72     | 62     | 56     |

## Referencias

Lozano, D. C. P., Chacón-Patiño, M. L., Gomez-Escudero, A., & Barrow, M. P. (2019). | Mass Spectrometry in the Petroleum Industry. [doi.org/10.1520/MNL3720160029](https://doi.org/10.1520/MNL3720160029)

Ríos, E. H., Guzmán, J. D., Ribadeneira, R., Bailón-García, E., Acevedo, E. R., Vélez, F., Franco, C. A., Riazzi, M., & Cortes, F. B. (2024). Effect of the oil content on green hydrogen production from produced water using carbon quantum dots as a disruptive nanoelectrolyte. *International Journal of Hydrogen Energy*, 76, 353-362. [doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.05.458](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.05.458)

Villegas, J. P., Arcila, N., Ortega, D., Franco, C. A., & Cortés, F. B. (2017). Remoción de hidrocarburos de aguas de producción de la industria petrolera utilizando nanointermedios compuestos por SiO<sub>2</sub> funcionalizados con nanopartículas magnéticas. *Dyna*, 84(202), 65-74. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532017000300065&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532017000300065&script=sci_arttext)



# Estudios *in situ* DRIFT y NAP-XPS de la reacción de desplazamiento del gas de agua empleando un catalizador basado en Ni/ZSM-5 obtenido por incorporación directa

Ordoñez Ramos Fredy<sup>a</sup>, Santa-Arango, A<sup>b</sup>, Ostos Carlos<sup>b</sup>, Múnera F. John<sup>a</sup>, Tarditi M. Ana<sup>a</sup>

<sup>a</sup>atarditi@fiq.unl.edu.ar, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE), Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería Química, Santiago del Estero 2829, 3000, Santa Fe, Argentina

<sup>b</sup>NAP-XPS Lab, CATALAD Research Group, Instituto de Química, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia UdeA, Calle 70 No. 52-21 Medellín, Colombia

**Palabras clave:** NAP-XPS, *in situ* DRIFT, Ni@ZSM-5, WGS

## Resumen

La reacción de desplazamiento del gas de agua (WGS) se emplea en la producción y purificación industrial de hidrógeno. Los catalizadores a base de níquel son activos en la reacción WGS; sin embargo, son propensos a la metanación. En este sentido, para mejorar la selectividad a hidrógeno, se ha estudiado un catalizador Ni-ZSM-5 preparado por incorporación directa, que mostró un buen rendimiento en la reacción de desplazamiento del gas de agua.

El catalizador Ni@-ZSM-5 fue sintetizado por el método de incorporación directa (one-pot) de Ni por medio de síntesis hidrotermal, sin el empleo de agente estructurante, partiendo de un gel de síntesis de composición molar:  $1\text{SiO}_2:0.024\text{Al}_2\text{O}_3:0.14\text{Na}_2\text{O}:20\text{H}_2\text{O}:0.020\text{CTABr}$  y semillas de silicalita (Ordoñez, 2025). A partir de  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , en solución acuosa y con etilendiamina (EDA), se preparó un complejo de Ni-etilendiamina para la estabilización de los cationes en el gel de síntesis, empleando una carga teórica del metal del 3% p/p. El tiempo de síntesis fue de 144h a temperatura de 180°C, y posteriormente calcinado a 550°C.

Las propiedades catalíticas del catalizador en WGS se evaluó utilizando un reactor de lecho fijo tubular de cuarzo operado a presión atmosférica, a régimen isotérmico (400°C). El reactor se calentó desde temperatura ambiente hasta 600°C bajo flujo de argón. Posteriormente, a esta temperatura se realizó la reducción del catalizador con hidrógeno durante 2 h. Se emplearon mezclas reaccionantes con diferentes composiciones manteniendo la relación  $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}=3$ . Para los estudios DRIFT se utilizó una celda de alta temperatura y presión (accesorio de reflectancia difusa DiffusIRTM) conectada a un instrumento IRPrestige-21. El catalizador se calentó previamente a 600°C en atmósfera de Ar y luego se redujo *in situ* utilizando una mezcla de  $\text{H}_2(5\%)/\text{Ar}$  durante 2 h. La reacción de WGS se evaluó alimentando una mezcla de 5% de CO, 70,4% de Ar y 24,6% de  $\text{H}_2\text{O}$ . En un caudal de  $79,6 \text{ mL min}^{-1}$  ( $\text{W/F}=1,0 \times 10^{-3} \text{ g cat} \cdot \text{h} \cdot \text{L}^{-1}$ ). Posteriormente, la temperatura se redujo a 450 °C y los espectros se registraron incrementando la temperatura en 25°C a 450°C. Finalmente, en modo isotérmico a 400°C, se tomaron espectros a los 1, 5, 10, 15 y 20 min. Los experimentos de NAP-XPS, se realizaron en un sistema SPECS, equipado con una celda *in situ*, en un rango de temperatura de 300–450 °C y una presión = 1,5 mbar.

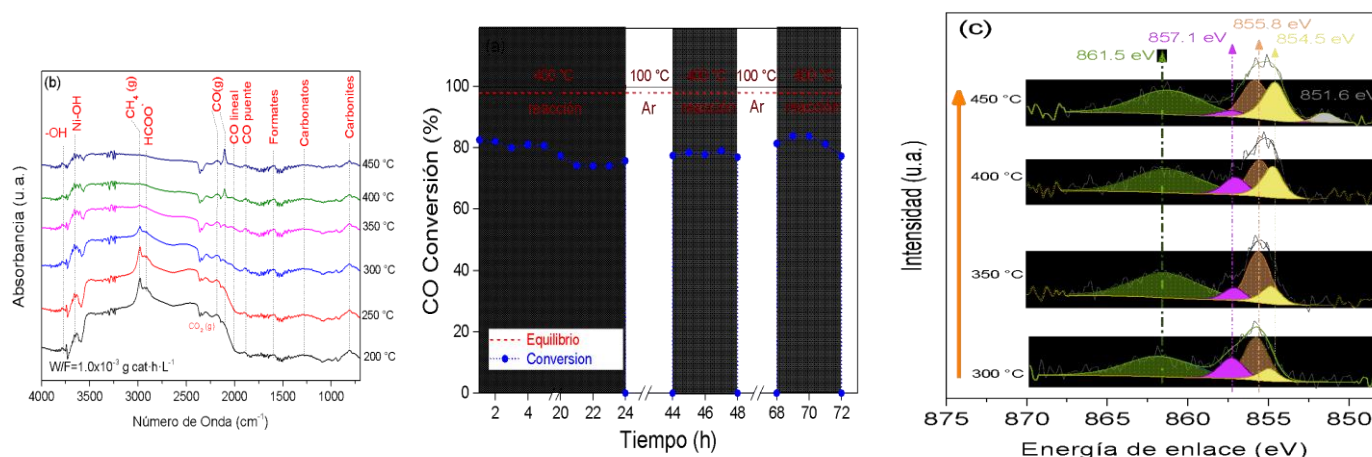
El catalizador  $\text{Ni}_{2.4}@\text{ZSM-5}$  fue activo, selectivo ( $\text{SH}_2 \sim 98\%$ ), y estable en condiciones de reacción, como se verificó mediante pruebas de ciclos de encendido y apagado empleando una mezcla de 18,4% CO, 54,0%  $\text{H}_2\text{O}$ , 27,6% Ar (Figura 1a). Para determinar las propiedades catalíticas del sólido, cuando es sometido a un flujo con composición similar a la de salida de un reformador, el catalizador se evaluó en una corriente con la siguiente composición: 12,2 % CO, 36,7 %  $\text{H}_2\text{O}$ , 30,6 %  $\text{H}_2$ , 5,1 %  $\text{CO}_2$ , 15,3 % Ar. Cabe





destacar que, bajo estas condiciones, la conversión de CO alcanza entre 55 y 60 % y la selectividad a H<sub>2</sub> permanece prácticamente constante (96%) durante el tiempo de reacción (resultados no mostrados).

El efecto de la temperatura sobre las especies formadas durante la reacción de WGS en el catalizador Ni<sub>2.4</sub>@ZSM-5 se evaluó mediante experimentos de DRIFT in situ y NAP-XPS (Figura 1b y 1c). En condiciones de reacción, se observaron bandas de absorción características de especies de carbonato, formiato e hidróxido, así como de CO adsorbido en sitios de Ni.



**Figura 1.** (a) Estabilidad del catalizador Ni<sub>2.4</sub>@ZSM-5 durante ciclos de enfriamiento-calentamiento en una mezcla de 18,4% CO, 54,0% H<sub>2</sub>O, 27,6% Ar (b) Espectros DRIFT del efecto de la temperatura (200-450 °C) en la evolución de las bandas formadas durante el desplazamiento del gas de agua para una mezcla de 5 % CO, 24,6 % H<sub>2</sub>O y 70,4 % Ar. (c) Región de nivel interno Ni 2p<sub>3/2</sub> en condiciones WGS en función de la temperatura.

En los experimentos NAP-XPS durante la reacción WGS, a temperaturas entre 300 y 450 °C, al aumentar la temperatura, la intensidad del pico a 857,1 eV, asociado a especies de Ni como hidroxilos, disminuye, mientras que la de los picos relacionados con NiO aumenta. Se observaron picos relacionados con Ni<sub>x</sub>C, -CH, especies de formiato y CO<sub>3</sub>\* en la región de C 1s (no se muestran). Al aumentar la temperatura, los picos asociados a las especies de formiato desaparecen, lo cual concuerda con los resultados de los experimentos de DRIFT.

Se sintetizó un catalizador Ni<sub>2.4</sub>@ZSM-5 mediante un método en un solo paso, que resultó activo y estable para la producción de hidrógeno mediante la reacción de desplazamiento del gas de agua. Los resultados de caracterización in situ muestran la participación de los intermediarios tipo formiato y de los hidroxilos superficiales en la promoción de la reacción de desplazamiento del gas de agua, lo que aportaría información valiosa para el diseño de catalizadores eficientes a base de níquel.

## Referencias

Ordoñez Ramos, F., Sapag, K., Múnera, J.F., Tarditi, A.M. (2025). *Molecular. Catalysis.*, 577, 114963. doi:10.1016/j.mcat.2025.114963



# Modificación ultrarrápida de espumas de níquel con materiales mixtos de Ni–Fe–Co para OER en electrólisis alcalina

Danna Salinas<sup>a</sup>, Jorge Gómez<sup>b</sup>, Eduard Romero-Malagón<sup>c</sup> Yazmin Agámez-Pertuz<sup>d</sup>

<sup>a</sup> [dsalinas@unal.edu.co](mailto:dsalinas@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C.

<sup>b</sup> [joregomezlop@unal.edu.co](mailto:joregomezlop@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C.

<sup>c</sup> [erromerom@unal.edu.co](mailto:erromerom@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.

<sup>d</sup> [yyagamezp@unal.edu.co](mailto:yyagamezp@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.

**Palabras clave:** producción de hidrógeno; reacción de evolución de oxígeno; oxihidróxidos Ni–Fe–Co; electrólisis alcalina del agua; espuma de níquel.

## Resumen

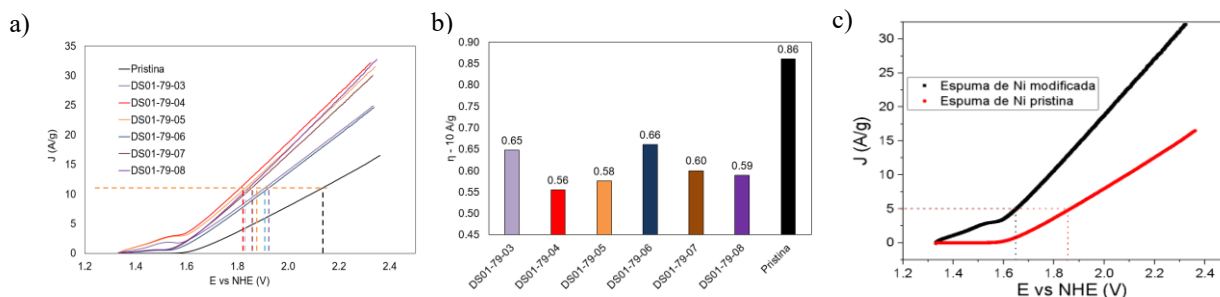
La producción de hidrógeno verde por electrólisis alcalina del agua es una alternativa interesante; sin embargo, todavía presenta limitaciones asociadas principalmente a la reacción de evolución de oxígeno (OER), debido a su cinética lenta y a los altos sobrepotenciales requeridos. Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del tiempo de modificación superficial de espumas de níquel comerciales sobre su desempeño electrocatalítico hacia la OER en medio alcalino. Para ello, las espumas fueron primero lavadas con isopropanol y luego activadas en HCl 3 M, ambas etapas asistidas por ultrasonido. Posteriormente, se sometieron a un tratamiento químico rápido en una solución con EDTA,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  y tiosulfato, variando el tiempo de modificación entre 3 y 10 min, con el fin de favorecer la formación de una capa superficial activa sin perder la estructura macroporosa del material. Finalmente, la evaluación electroquímica se realizó en KOH 1 M mediante voltamperometría lineal y cíclica en una celda convencional de tres electrodos, y de manera complementaria se emplearon IR-ATR y SEM para estudiar los cambios superficiales y relacionarlos con el desempeño catalítico.

Los resultados muestran que la modificación superficial de la espuma de níquel mejora de manera clara su respuesta hacia la reacción de evolución de oxígeno, aunque el efecto depende del tiempo de tratamiento. En la Figura 1a se observa que todas las espumas modificadas presentan un mejor desempeño que la espuma prístina, ya que alcanzan mayores densidades de corriente a menores potenciales. Sin embargo, la condición de 5 min fue la que presentó la mejor respuesta electroquímica, con el menor sobrepotencial a  $10 \text{ A} \cdot \text{g}^{-1}$ , de 0.56 V, frente a 0.86 V para la espuma prístina (Figura 1b). Esto indica que el tratamiento favorece la generación de una superficie más activa para la OER, pero que tiempos mayores no necesariamente producen una mejora adicional, lo que sugiere la existencia de un tiempo óptimo de modificación. En la Figura 1c, al aplicar la corrección  $iR$ , la espuma modificada mantiene su ventaja respecto a la prístina, lo que indica que la mejora observada no se debe únicamente a efectos resistivos del sistema, sino a cambios intrínsecos en la interfaz electrodo/electrolito. Esto sugiere que la incorporación de Fe y Co favorece la formación de fases oxihidróxido catalíticamente más activas sobre la superficie del Ni.

Los resultados de IR-ATR apoyan esta interpretación, especialmente por la presencia de la banda ancha asociada a grupos  $-\text{OH}$  y la señal en la región de carbonato interlamilar, alrededor de  $1365 \text{ cm}^{-1}$ , lo que sugiere la formación de una fase tipo LDH sobre la espuma modificada. A su vez, las imágenes SEM muestran que la espuma conserva su estructura porosa después del tratamiento, pero presenta una superficie más rugosa, consistente con el crecimiento de una capa activa. En conclusión, la modificación ultrarrápida sí permite mejorar la respuesta electrocatalítica de la espuma de níquel hacia la OER, y entre



las condiciones evaluadas, 5 min fue el tiempo más favorable. Además, la mejora observada se relaciona con la formación de una superficie más activa, sin pérdida de la estructura porosa del soporte.



**Figura 1.** Caracterización y desempeño de la espuma de níquel pristine y modificada: (a) voltamperometría lineal a distintos tiempos de modificación, (b) sobrepotencial de las espumas modificadas a distintos tiempos, y (c) curvas con corrección de la caída óhmica para la espuma pristine y la modificada con mejor desempeño.

## Referencias:

- Dionigi, F., & Strasser, P. (2016). NiFe-based (oxy)hydroxide catalysts for oxygen evolution reaction in non-acidic electrolytes. *Advanced Energy Materials*, 6(23), Artículo 1600621. <https://doi.org/10.1002/aenm.201600621>
- Márquez, R. A., Kawashima, K., Son, Y. J., Rose, R., & Smith, L. A. (2024). Rescrutinizing the iron effect on oxygen evolution reaction electrocatalysis in alkaline media. *ACS Energy Letters*, 9(2), 547–555. <https://doi.org/10.1021/acsenergylett.3c02396>
- Moreno-González, M., Mardle, P., Zhu, S., Gholamkhass, B., Jones, S., Chen, N., Britton, B., & Holdcroft, S. (2023). One year operation of an anion exchange membrane water electrolyzer utilizing Aemion+ membrane: Minimal degradation, low H<sub>2</sub> crossover and high efficiency. *Journal of Power Sources Advances*, 19, Artículo 100109. <https://doi.org/10.1016/j.powera.2023.100109>
- Trotochaud, L., Young, S. L., Ranney, J. K., & Boettcher, S. W. (2014). Nickel–iron oxyhydroxide oxygen-evolution electrocatalysts: The role of intentional and incidental iron incorporation. *Journal of the American Chemical Society*, 136(18), 6744–6753. <https://doi.org/10.1021/ja5019286>



## Estación Meteorológica de Bajo Costo para Caracterización Local del Aire y Aprovechamiento Eficiente de Energías Renovables

Juan Manuel Henao Medina<sup>a</sup>, Maria Alejandra Quiroga Cantor<sup>b</sup>, Liliam Cristina Agudelo Morimitsu<sup>c</sup>, Fabio Alexander Suárez Bustamante<sup>d\*</sup>

<sup>a</sup> [juanm.henaom@ecci.edu.co](mailto:juanm.henaom@ecci.edu.co), Universidad ECCI, Medellín

<sup>b</sup> [mariaa.quirogac@ecci.edu.co](mailto:mariaa.quirogac@ecci.edu.co), Universidad ECCI, Medellín

<sup>c</sup> [lagudelom@ecci.edu.co](mailto:lagudelom@ecci.edu.co), Universidad ECCI, Medellín

<sup>d</sup> [fsuarezb@ecci.edu.co](mailto:fsuarezb@ecci.edu.co), Universidad ECCI, FARO Tecnológico S.A.S., Medellín

**Palabras clave:** Estación Meteorológica, Aprovechamiento de Recursos Energéticos, Energías Renovables, Caracterización del Aire.

### Resumen

La caracterización del aire es clave para el aprovechamiento de energías renovables, especialmente en entornos urbanos con alta variabilidad climática (IPCC, 2021). En Colombia, la limitada resolución de datos meteorológicos dificulta estos análisis (IDEAM–UPME, s.f.). Las estaciones de bajo costo basadas en plataformas abiertas surgen como alternativa viable para ampliar el monitoreo ambiental (Seinfeld & Pandis, 2016). El objetivo es desarrollar una estación meteorológica de bajo costo, confiable, con conectividad IoT que permite transmitir datos en tiempo real a la nube, capaz de caracterizar las condiciones atmosféricas locales facilitando la toma de decisiones para el aprovechamiento eficiente de recursos energéticos, especialmente el viento; y mejorar así, la implementación de tecnologías de energías renovables en entornos urbanos y rurales (IPCC, 2021; IDEAM–UPME, s.f.).

La estación meteorológica desarrollada es de bajo costo (\$120.000), se usa una plataforma ESP32 lo que brinda mayor facilidad en la conectividad IoT y tiene un costo reducido frente a las demás en el mercado (Raspberry Pi, por ejemplo), presenta una mejor potencia de procesamiento y capacidad de memoria que otros modelos convencionales del mercado (Arduino UNO, por ejemplo). Para caracterizar el aire, actualmente, la estación mide las siguientes variables en tiempo real: temperatura, humedad relativa y presión. Y además incorporando un modelo psicrométrico en tiempo real (ASHRAE, 2021) que permite realizar una caracterización completa del aire al calcular la humedad absoluta y la temperatura de bulbo húmedo. En este momento, se está trabajando en el desarrollo de un anemómetro rotacional de 3 aspas usando un sensor optoacoplador para el conteo de pulsos y cálculo de la velocidad angular; su estructura diseñada se fabricará en polímero mediante manufactura aditiva. Al incorporar este módulo para medir la velocidad del viento, se podrá determinar en tiempo real la energía cinética del aire, variable clave para evaluar el desempeño de un aerogenerador. Para la recolección de la información se desarrolló un App Script de Google sheet para su almacenamiento y visualización gráfica.

Se realizaron dos pruebas de campo con mediciones continuas durante periodos de 15 días. Estas mediciones se hicieron en Sabaneta y en Medellín, con mediciones cada minuto, permitiendo capturar variaciones microclimáticas (WMO, 2018). Los datos se compararon con los reportados por las estaciones del SIATA y la Aeronáutica Civil, mediante análisis de tendencias y correlación. Los resultados preliminares muestran coherencia en las variables temperatura y humedad frente a los datos de referencia, con desviaciones propias de un sistema de bajo costo. Finalmente, se obtuvo una base de datos continua de



alta resolución que se usará para análisis muy específicos según la localidad. La alta frecuencia de muestreo permite capturar variaciones microclimáticas no detectadas por estaciones convencionales. La validación con datos externos respalda la confiabilidad del sistema, aunque existen limitaciones por el uso de sensores de bajo costo. El sistema continúa en mejora, especialmente en la medición del viento y análisis de datos para aplicaciones energéticas.

Del trabajo desarrollado se concluye que, es posible construir una estación de bajo costo confiable que capture las características propias de un microclima, que realice una caracterización completa del aire al incorporar un algoritmo que considera la psicrometría en tiempo real (variaciones locales y temporales de presión, temperatura y humedad). Esto diferencia la estación meteorológica desarrollada de cualquier otra consultada a la fecha. Y además, permite hacer una caracterización completa de las propiedades del aire para determinar la energía cinética en tiempo real; información útil para el diseño, operación y evaluación de eficiencia de aerogeneradores.

## Referencias:

Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change* (3rd ed.). Wiley.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press.

World Meteorological Organization. (2018). *Guide to meteorological instruments and methods of observation* (WMO-No. 8).

ASHRAE. (2021). *ASHRAE handbook: Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

IDEAM–UPME. (s.f.). *Atlas de viento y energía eólica de Colombia*. IDEAM.





## Influencia de la relación Ti/Zr en catalizadores Ni/TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> para la hidrodesoxigenación selectiva de 5-(hidroximetil)furfural

M.A. Cortés-Jiménez<sup>a</sup>, C. García-Mendoza<sup>a</sup>, R. Rios-Escobedo<sup>a</sup>, J.A. de los Reyes<sup>a,\*</sup>, V.A. Suárez-Toriello<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> [idelosreyes@correo.uam.mx](mailto:idelosreyes@correo.uam.mx), Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, CDMX-México.

<sup>b</sup> [vsuarez@secihiti.mx](mailto:vsuarez@secihiti.mx), Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación, 03940 Benito Juárez-CDMX, México.

**Palabras clave:** 5-(hidroximetil)furfural; Hidrodesoxigenación; 2,5-dimetilfurano; TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub>

### Resumen

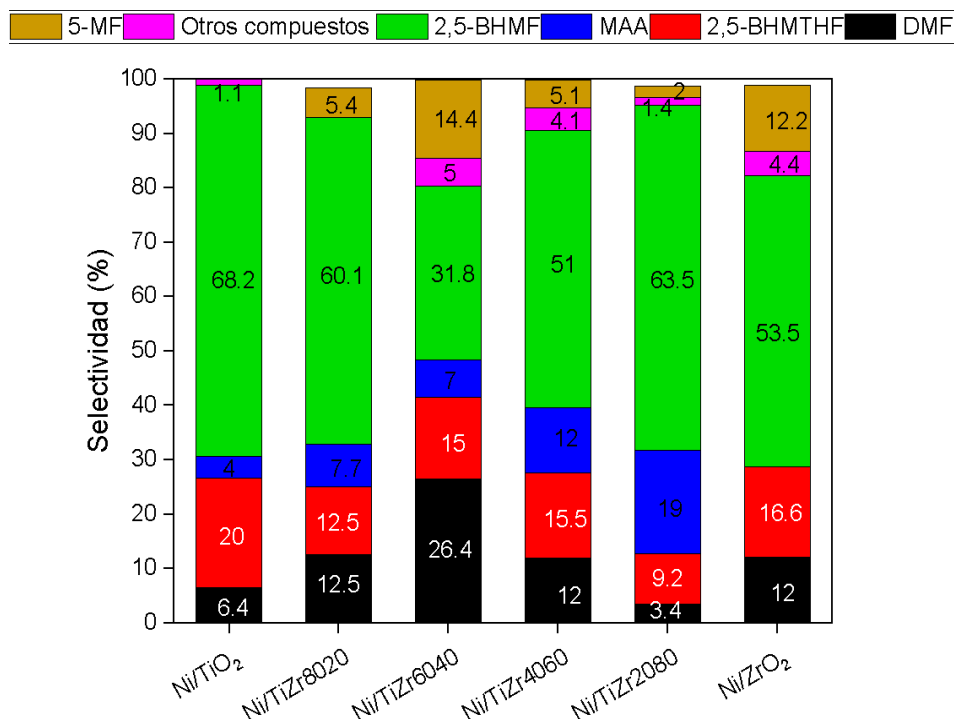
La hidrodesoxigenación (HDO) de 5-(hidroximetil)furfural (HMF) hacia 2,5-dimetilfurano (DMF) requiere catalizadores bifuncionales que integren sitios metálicos activos y acidez superficial controlada, capaces de favorecer la ruptura selectiva de enlaces C–O y suprimir rutas paralelas de hidrogenación (Wang et al., 2023; Xiang et al., 2022). El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de la relación Ti/Zr en catalizadores Ni/TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> sobre la actividad y selectividad en la hidrodesoxigenación de 5-(hidroximetil)furfural, estableciendo la relación entre la composición del soporte, la acidez superficial y la interacción metal-soporte con la distribución de productos.

Se sintetizaron óxidos mixtos TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> con contenidos de 0, 20, 40, 60, 80 y 100 %-peso TiO<sub>2</sub> mediante el método sol-gel, seguidos de tratamiento solvotérmico y calcinación a 500 °C. El níquel se incorporó por impregnación incipiente (3 at·nm<sup>-2</sup>) utilizando una solución acuosa de nitrato de níquel hexahidratado. Tras la impregnación, los materiales se dejaron madurar durante una noche, posteriormente se secaron y se redujeron en H<sub>2</sub> a 400 °C para su activación. Los materiales se caracterizaron por DRX, fisisorción de N<sub>2</sub>, TPD-NH<sub>3</sub> y TPR-H<sub>2</sub>. La evaluación catalítica se realizó en un reactor por lotes a 180 °C y 20 bar de H<sub>2</sub>, empleando una solución 0.013 M de HMF en 1,4-dioxano y ~100 mg de catalizador.

Las composiciones intermedias del soporte, definidas en el intervalo 40–60 %-peso TiO<sub>2</sub> (Ti/Zr = 40/60 y 60/40), presentaron áreas superficiales ~265 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>, superiores a las de los óxidos simples (~50 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>). Esta característica favorece una mayor dispersión del Ni. El sistema Ni/TiZr(40/60) exhibió la mayor acidez total (~3,400 μmol NH<sub>3</sub>·g<sup>-1</sup>), dominada por sitios ácidos fuertes. Estas condiciones condujeron a la mayor velocidad inicial de reacción (9.8×10<sup>-4</sup> mol·g<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>), pero favoreció rutas de hidrogenación, con selectividades de ~50% hacia BHMF, 12 % hacia DMF y 12 % hacia mezcla de alcoholes alifáticos (MAA). En contraste, Ni/TiZr(60/40) presentó una mayor fracción de sitios ácidos de fuerza media. Esto condujo a una mayor selectividad hacia DMF (26 %), hasta cuatro veces superior que Ni/TiO<sub>2</sub>, lo que indica que estos sitios favorecen la hidrogenólisis selectiva; consistente con reportes previos (Valdés-Martínez et al., 2017).

La **Figura 1** muestra que la selectividad depende fuertemente de la composición del soporte y evidencia la competencia entre rutas de reacción. En este sentido, la ruta de hidrogenación conduce a la formación de BHMF, alcanzando hasta 68 % en Ni/TiO<sub>2</sub>, mientras que la hidrogenólisis favorece la formación de DMF. Asimismo, una mayor proporción de sitios ácidos fuertes promueve la apertura del anillo furánico y la formación de alcoholes alifáticos, con selectividades cercanas a 19 %.





**Figura 1.** Selectividad a BHMF, DMF y MAA a isoconversión de HMF (35 %) en función de la composición Ti/Zr del soporte.

En conjunto, la relación Ti/Zr ajusta el balance ácido-metal al modificar la acidez, la dispersión metálica y la interacción Ni-soporte, determinando la competencia entre hidrogenación, hidrogenólisis y apertura de anillo. Las composiciones intermedias permiten dirigir la selectividad hacia DMF, posicionando estos sistemas como candidatos para la producción selectiva de biocombustibles avanzados a partir de HMF.

## Referencias:

- Valdés-Martínez, O. U., Suárez-Toriello, V. A., Reyes, J. A. D. L., Pawelec, B., & Fierro, J. L. G. (2017). Support effect and metals interactions for NiRu/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> and ZrO<sub>2</sub> catalysts in the hydrodeoxygenation of phenol [Article]. *Catalysis Today*, 296, 219-227. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2017.04.007>
- Wang, G., Zhou, L., Liu, S., Tang, N., Zhu, C., Zhu, X., Li, C., Yang, C., & Shan, H. (2023). Highly active and stable Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> promoted TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> catalyst for propane dehydrogenation. *Chemical Engineering Journal*, 477, 147047. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.147047>
- Xiang, S., Dong, L., Wang, Z. Q., Han, X., Daemen, L. L., Li, J., Cheng, Y., Guo, Y., Liu, X., Hu, Y., Ramirez-Cuesta, A. J., Yang, S., Gong, X. Q., & Wang, Y. (2022). A unique Co@CoO catalyst for hydrogenolysis of biomass-derived 5-hydroxymethylfurfural to 2,5-dimethylfuran. *Nat Commun*, 13(1), 3657. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31362-9>



# Influencia de Ca y La en catalizadores Ni-Co/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para la producción de H<sub>2</sub> por reformado en fase acuosa de glucosa

Hugo J. Alessio<sup>a</sup>, Raúl A. Comelli<sup>a</sup>, Javie M. Grau<sup>a\*</sup>.

<sup>a</sup> Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica “José M. Parera” - Santa Fe, Argentina.  
 jgrau@fiq.unl.edu.ar\*

**Palabras clave:** Hidrógeno, Biomasa, Reformado en fase acuosa, Catalizadores Ni-Co.

## Resumen

Se evaluó el efecto de Ca y La sobre catalizadores Ni-Co/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en el reformado en fase acuosa (APR) de glucosa. Los ensayos se realizaron en un reactor de lecho fijo a 498 K, 25 bar y WHSV = 2,45 h<sup>-1</sup>. En todos los casos se obtuvieron conversiones de glucosa superiores al 90%, aunque con bajos rendimientos a productos gaseosos, evidenciando la formación predominante de compuestos en fase líquida. La incorporación de promotores mejoró el desempeño catalítico, siendo Ca el más efectivo, alcanzando 99 % conversión, 5 % de rendimiento a H<sub>2</sub> y 96 % de selectividad. Estos resultados indican que la modificación de las propiedades ácido-base del soporte influye en la distribución de productos y constituye una estrategia prometedora para optimizar la producción de hidrógeno a partir de biomasa.

## Introducción

El hidrógeno (H<sub>2</sub>) es un vector energético promisorio para sustituir los combustibles fósiles. Su producción a partir biomasa ha generado creciente interés, siendo el reformado en fase acuosa (APR) una alternativa viable para obtenerlo desde compuestos oxigenados como la glucosa (Tian et al., 2024). No obstante, el desarrollo de catalizadores de baja carga metálica que combinen alta actividad, selectividad y estabilidad en medio acuoso continúa siendo un desafío (Pipitone et al., 2022). En este trabajo se evalúa el efecto de añadir Ca y La sobre catalizadores Ni-Co/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para mejorar su desempeño en la producción de H<sub>2</sub> vía APR de glucosa.

## Metodología

Los catalizadores se sintetizaron modificando  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> comercial con 5 % p/p de Ca o La, seguido de la incorporación de Ni y Co por combustión controlada de matriz de urea (Alessio et al., 2026); se caracterizaron por ICP-OES (contenido metálico), TPD de piridina (acidez) y TPD de CO<sub>2</sub> (basicidad). Los ensayos de APR de glucosa se realizaron en un reactor de lecho fijo con 0,5 g de catalizador, a 498 K, 25 bar, y alimentando una solución acuosa de glucosa al 5 % p/p (0,02 mL min<sup>-1</sup>) durante 7 h. Los productos gaseosos se analizaron por GC-TCD.

## Resultados

Las composiciones obtenidas fueron cercanas a las nominales (Tabla 1). La incorporación de Ca reduce la acidez y aumenta significativamente la basicidad del catalizador, mientras que el La incrementa los sitios básicos sin modificar sustancialmente la acidez.



| Catalizador | Ni<br>(% p/p) | Co<br>(% p/p) | La<br>(% p/p) | Ca<br>(% p/p) | Acidez<br>(mmolPiridina) | Basicidad<br>(mmolCO <sub>2</sub> ) |
|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|-------------------------------------|
| NiCo        | 1,9           | 3,9           | -             | -             | 0,59                     | 0,13                                |
|             |               |               |               |               |                          | 13                                  |
| NiCo-La     | 1,5           | 4,7           | 5,1           | -             | 0,66                     | 0,56                                |
| NiCo-Ca     | 1,4           | 4,8           | -             | 4,5           | 0,35                     | 1,14                                |

Conversion glucose y Selectividad  $H_2$  (%)

Legend: Conversion glucose (Blue bar), Selectividad  $H_2$  (Red bar), Rendimiento  $H_2$  (Dashed line with black dots)

| Catalyst | Conversion glucose (%) | Selectividad $H_2$ (%) | Rendimiento $H_2$ (%) |
|----------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| NiCo     | 91                     | 85                     | 1                     |
| NiCo-La  | 92                     | 86                     | 4                     |
| NiCo-Ca  | 99                     | 96                     | 5                     |

Rendimiento  $H_2$  (%)

## Reformado catalítico de corrientes de gasificación de biomasa: estudios DRIFTS in situ y evaluación a escala banco.

Misael Cordoba Arroyo<sup>a\*</sup>, Lina Garcia<sup>b</sup>, Liza Dosso<sup>c</sup>, Carlos R. Vera<sup>c</sup>, Juan Badano<sup>c</sup>, Mariana Busto<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Grupo de Investigación en Catálisis Ambiental y Energías Renovables, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín

<sup>b</sup>Grupo de Investigación Ciencia e Ingeniería en Sistemas Ambientales (GCISA), Popayán Cauca, Colombia.

<sup>c</sup>Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE), Santa Fe, Argentina

Email: [misaecordoba@elpoli.edu.co](mailto:misaecordoba@elpoli.edu.co)

**Palabras clave:** gasificación, catalizadores de residuos, DRIFTS in situ, escala banco

### Resumen

El syngas obtenido de procesos termoquímicos de conversión de biomasa presenta un alto potencial para la generación de energía y la producción de hidrógeno. Sin embargo, la presencia de alquitranes en estas corrientes constituye una de las principales limitaciones para su aprovechamiento, debido a su tendencia a condensarse, formar depósitos y desactivar sistemas catalíticos (García et al., 2023). En este contexto, el estudio del reformado de alquitrán en corrientes de syngas mediante técnicas de caracterización in situ, como la espectroscopía infrarroja por reflectancia difusa (DRIFTS), permite analizar la formación de especies superficiales y comprender los mecanismos involucrados en el proceso catalítico (Córdoba et al., 2022). El presente trabajo se desarrolló en dos etapas complementarias: inicialmente se realizó un estudio mecanístico mediante DRIFTS usando tolueno y mezcla de syngas; posteriormente, estos materiales fueron evaluados en el reformado catalítico de una corriente real de gasificación a escala banco (García et al., 2022).

### Sección Experimental

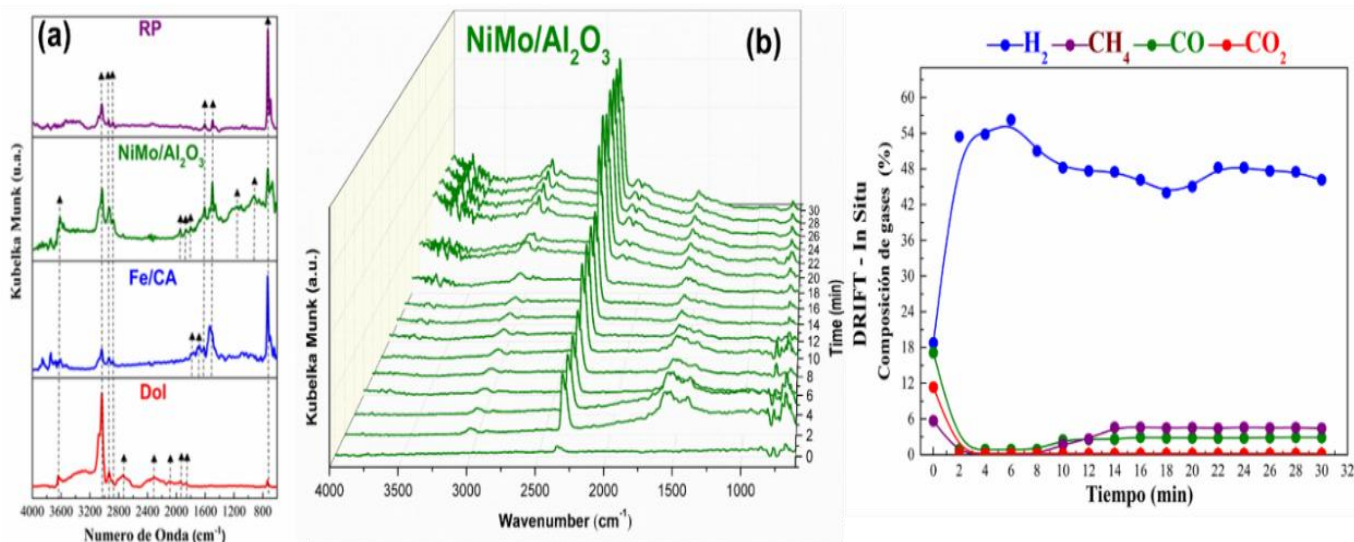
Se evaluaron cuatro materiales catalíticos y un material comercial: dolomita calcinada (Dol), residuos de pirólisis (RP), Fe/C y NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Los experimentos DRIFTS se realizaron en una celda de reflectancia difusa bajo condiciones controladas de temperatura, registrando espectros in situ de adsorción de syngas y tolueno. Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas de reformado de syngas y mezcla syngas+tolueno a 600 °C, con el objetivo de identificar especies superficiales asociadas a interacciones con H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> y tolueno. Las pruebas de gasificación con reformado catalítico se realizaron en un gasificador autotérmico a escala banco, con reactor de lecho fluidizado y alimentación continua de 0,840 kg/h de aserrín de pino. Este sistema se acopló a un reformador catalítico en el que se emplearon los catalizadores Fe/C, Dol, RP y NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, evaluándose la calidad del syngas obtenido para aplicaciones bioenergéticas.

### Discusión y Resultados

La **Figura 1** muestra los resultados DRIFTS de adsorción de tolueno sobre la superficie de los catalizadores (**Figura 1a**), así como los espectros DRIFTS in situ de la mezcla syngas+tolueno sobre NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y la composición de gases obtenida durante el reformado (**Figura 1b**). Los resultados evidencian que la naturaleza del catalizador determina la formación, estabilidad y transformación de especies superficiales. NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe/C mostraron bandas de mayor intensidad aromática entre 1200–1500 cm<sup>-1</sup>, lo cual es coherente con una mayor interacción del tolueno con sitios metálicos o de Lewis, en comparación con Dol y RP. Por otro lado, en la adsorción de syngas sobre Dol, Fe/C, NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y RP a 25, 200, 400 y 600 °C, se evidenciaron especies superficiales correspondientes a la interacción de especies gaseosas e intermediarios, lo que permite inferir preferencias mecanísticas. En particular, se identificaron tendencias hacia reacciones de metanación en NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y formación de especies carbonadas (CO, CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>) sobre Dol, asociadas a reacciones de Water Gas Shift (WGS) y reformado. Las bandas estrechas cercanas a 2000 cm<sup>-1</sup> y alrededor de 3000 cm<sup>-1</sup> están dominadas por CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> en fase gas, mostrando la actividad global del sistema catalítico. En el caso de Fe/C y RP, se observa interacción con especies gaseosas, lo que sugiere una alta probabilidad de reacciones de reformado durante el proceso a escala banco.







**Figura 1.** a) Espectro DRIFT de adsorción de tolueno en catalizadores, b) DRIFT in-situ de reformado de syngas + tolueno de NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y su composición de gases obtenida.

Como se evidencia en la **Figura 1b**, en NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se presentan señales de baja intensidad y carácter transitorio entre 1600 y 1700 cm<sup>-1</sup>, lo que sugiere la transformación de intermediarios superficiales y una menor acumulación de especies carbonosas. Adicionalmente, en la región de ~2000–2100 cm<sup>-1</sup> se observa una señal intensa correspondiente a especies tipo CO adsorbidas sobre sitios metálicos, con menor contribución de CO<sub>2</sub> y tolueno, indicando que se favorecen reacciones de metanación y producción de H<sub>2</sub>, en concordancia con la composición de gases obtenida durante los experimentos DRIFTS in situ. Este comportamiento es consistente con la alta producción de H<sub>2</sub> observada en el proceso de reformado del syngas a escala banco, lo que indica una mayor actividad en reacciones de reformado, metanación y WGS. Los resultados a escala banco confirmaron que el desempeño catalítico depende de las propiedades del catalizador: Fe/C alcanzó la mayor conversión de alquitrán (96,2 %), mientras que NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> promovió la mayor producción de H<sub>2</sub> y el mayor poder calorífico del gas, asociado a la formación de H<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. RP mostró un comportamiento intermedio y Dol una actividad moderada.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que la naturaleza del catalizador determina la dinámica de las especies superficiales y, por tanto, la selectividad del proceso. Fe/C alcanzó la mayor conversión de alquitrán (96,2 %), mientras que NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> favoreció la producción de H<sub>2</sub> y el incremento del poder calorífico del syngas. En conjunto, el estudio evidencia que los resultados DRIFTS permiten establecer relaciones mecanísticas directas con el desempeño catalítico a escala banco.

## Referencias

- Córdoba, M., García, L., Martínez Bovier, L., Badano, J. M., Betti, C., Coloma Pascual, F., Quiroga, M., & Lederhos, C. (2022). Topics in Catalysis.
- García Peña, L. V., Córdoba Arroyo, M., Dosso, L. A., Vera, C. R., Casas Zapata, J. C., Ramírez Sanabria, A. E., Busto, M., & Badano, J. M. (2022). Revista ION, 35, 83–99.
- García, L., Córdoba, M., Dosso, L., Nardi, F., Vera, C., Quiroga, M., Busto, M., & Badano, J. M. (2023). ChemPlusChem.



## MATERIALES FUNCIONALES Y NANOTECNOLOGÍA APLICADA - MFNA



# Desarrollo de recubrimientos cerámicos sobre acero inoxidable como potenciales membranas inorgánicas para separación de CO<sub>2</sub> a alta temperatura

Mariana Álvarez-Gómez<sup>a\*</sup>, John Múnera<sup>b</sup>, Ana M. Tarditi<sup>c</sup>

<sup>a</sup> [malvarezgomez@fiq.unl.edu.ar](mailto:malvarezgomez@fiq.unl.edu.ar), [jmunera@fiq.unl.edu.ar](mailto:jmunera@fiq.unl.edu.ar), [atarditi@fiq.unl.edu.ar](mailto:atarditi@fiq.unl.edu.ar)

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (FIQ, UNL-CONICET), Santiago del Estero 2829, 3000 Santa Fe, Argentina

**Palabras clave:** Captura y utilización de CO<sub>2</sub>, membranas inorgánicas de fase dual, recubrimiento por inmersión

## Resumen

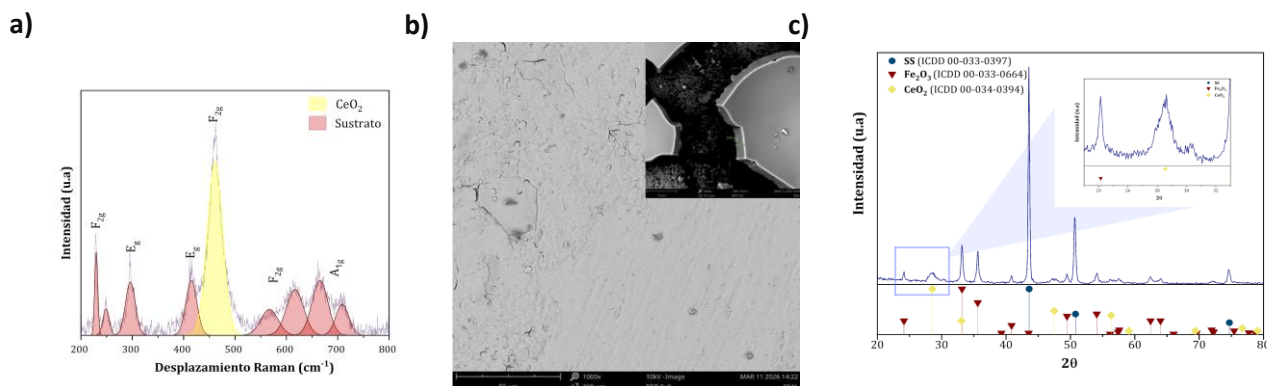
En el contexto de las tecnologías de captura, almacenamiento y utilización de CO<sub>2</sub>, las membranas inorgánicas de fase dual cerámico-carbonato constituyen una alternativa de interés para la separación selectiva de este gas a alta temperatura, debido a su selectividad teórica infinita y a la posibilidad de acoplar sistemas de captura y conversión (Sherman et al., 2012). Este tipo de membranas está conformado por una fase cerámica y una fase de carbonatos, donde la fase cerámica actúa como soporte y conductor de iones oxígeno, mientras que la fase de carbonatos fundidos permite el transporte de CO<sub>2</sub> en forma de iones carbonato, impulsado por un gradiente de presión parcial del gas entre ambos lados de la membrana (Dannesboe et al., 2020).

Para la fase cerámica se han estudiado diversos óxidos, entre los que destaca la ceria dopada con samario (SDC) o gadolinio (GDC), debido a su alta conductividad de iones oxígeno y su adecuada compatibilidad química con la fase de carbonatos (Zhang et al., 2021). Por otra parte, considerando que la permeación de CO<sub>2</sub> a través de la membrana depende tanto de la reacción superficial como del proceso de difusión en el interior de esta, se espera un mejor desempeño al emplear estructuras que se acerquen al espesor crítico del material, donde el proceso estaría controlado por la reacción superficial. En este sentido, la disminución del espesor de la membrana puede conducir a un aumento en su permeabilidad (Lu & Lin, 2013). Así, el presente trabajo evalúa el uso de recubrimientos cerámicos sobre sustratos porosos de acero inoxidable como alternativa para la obtención de membranas inorgánicas delgadas, con miras a su futura evaluación en procesos de separación selectiva de CO<sub>2</sub>. Los recubrimientos se realizaron mediante la técnica de inmersión (*dip-coating*), empleando ciclos sucesivos de deposición. Para la SDC, se partió de una suspensión coloidal comercial con una proporción atómica de 20 % de samario, mientras que para la GDC se utilizaron nitratos de cerio y gadolinio como precursores en una proporción de 15 % de gadolinio. En ambos casos, se empleó PVA al 3 % como agente aglutinante y se llevó a cabo una calcinación a 650 °C tras completar los ciclos de deposición.

En la **Figura 1a** se presenta el espectro Raman del recubrimiento de SDC sobre un disco de acero inoxidable, donde se observan señales atribuibles al modo vibracional F<sub>2g</sub> de CeO<sub>2</sub>, así como a modos vibracionales de tipo F<sub>2g</sub>, E<sub>g</sub> y A<sub>1g</sub> asociados al sustrato. Estos últimos evidencian la presencia de mezclas de espinelas tipo cromita y ferrita tras el tratamiento térmico, cuyas asignaciones corresponden a algunos de los cinco modos vibracionales Raman activos esperados en este tipo de estructuras (D'Ippolito et al., 2015). En la **Figura 1b** se muestra el recubrimiento mediante micrografía SEM, donde se evidencian distintas zonas de una capa que cubre el disco. En aquellas regiones donde se observan grietas, fue posible



estimar un espesor aproximado cercano a 3  $\mu\text{m}$ . Finalmente, en la **Figura 1c** se presenta el difractograma del recubrimiento obtenido a partir de nitratos, en el cual se identifican las señales correspondientes al sustrato (SS), junto con la presencia de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , además de la señal principal asociada a  $\text{CeO}_2$ .



**Figura 1.** a) Espectro Raman del recubrimiento SDC sobre disco de acero inoxidable b) Micrografía SEM del recubrimiento SDC sobre disco de acero inoxidable c) Difractograma del recubrimiento GDC sobre disco de acero inoxidable.

Los análisis realizados permitieron evidenciar la formación de una película cerámica sobre los sustratos, los cuales, a su vez, mostraron la formación simultánea de óxidos. En este sentido, la técnica resulta adecuada para la obtención de cerámicos para membranas de fase dual delgadas, siendo de interés la incorporación de una fase de carbonatos y su posterior evaluación en procesos de permeación de  $\text{CO}_2$ .

## Referencias

- Dannesboe, C.; Hansen, J.B.; & Johannsen, I. (2020). *React. Chem. Eng*, 5, 183-189. <https://doi.org/10.1039/C9RE00351G>.
- D'Ippolito, V.; Andreozzi, G.B.; Bersani, B. & Lottici, P.P. (2015). *J. Raman Spectrosc*, 46, 12 1255-1264. <https://doi.org/10.1002/jrs.4764>
- Lu, B. & Lin, Y.S. (2013) *J. Membr. Sci.*, 444, 402-411. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2013.05.046>
- Sherman, S.R; Gray, J.R; Brinkman, K.S & Huang, K,(2012). *J. Membr.Sci*, 401-402, 323-332. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2012.02.024>.
- Zhang, P.; Tong, J.; Huang, K.; Zhu, X. & Yang, W. (2021). *Prog. Energy Combust. Sci*, 82, 100888. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2020.100888>.



## Síntesis y caracterización de geopolímeros híbridos a base de aluminosilicatos naturales

Ingrid Y. Medina Mojica<sup>a,b,\*</sup>, Ruth D. Mojica<sup>a,b</sup>, Luis J. Mendoza<sup>a,b</sup>, Leopoldo Garavaglia<sup>a</sup>, Mercedes Muñoz<sup>c</sup>, Myrian Tebaldi<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Centro de Investigaciones Ópticas (CIOP), CIC-UNLP-CONICET

<sup>b</sup> Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, UNLP

<sup>c</sup> Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas "Dr Jorge Juan Ronco", CIC-UNLP-CONICET

\*ingrid.medina@ing.unlp.edu.ar

**Palabras clave:** Aluminosilicatos, espumas híbridas, caracterización

**Resumen** Los materiales sintetizados a partir de aluminosilicatos naturales (AS) como materia prima se denominan geopolímeros (Verdolotti, et. al, 2016). Los geopolímeros porosos son materiales versátiles y ecocompatibles, caracterizados por la amplia disponibilidad de materia prima, la facilidad de procesamiento y su bajo costo (Zheng et. al, 2024). Existen una gran diversidad de AS que pueden utilizarse para fabricar geopolímeros, tales como metacaolín, cenizas volcánicas, entre otros. A diferencia de los polímeros orgánicos, los materiales geopoliméricos presentan propiedades excepcionales, como alta resistencia mecánica y al fuego, capacidad para formar espumas aislantes y para inmovilizar residuos peligrosos, permitiendo su manipulación y almacenamiento seguros (Salahuddin et. al, 2015). Por todo lo mencionado, estos materiales han demostrado tener potencial de aplicación en catálisis, aislamiento térmico e intercambiadores de calor (Capasso, et. al, 2017), así como en procesos de descontaminación.

En este trabajo se presenta la síntesis y caracterización de geopolímeros híbridos a base de AS (tierras de diatomeas, cenizas volcánicas y caolines), empleando simultáneamente dos fuentes de espumado (Capasso, et. al, 2017). Los sistemas obtenidos fueron espumados mediante una técnica basada en reacciones químicas con producción de gas y otra basada en espumación mecánica. La espuma química se generó mediante la producción de H<sub>2</sub> a partir de la reacción redox del polvo de Si en medio alcalino. El espumado mecánico se llevó a cabo mediante la adición de un tensioactivo vegetal previamente batido hasta formar una espuma, incorporado al sistema antes de la condensación, con el fin de permitir que las burbujas queden atrapadas en la matriz cerámica activada con álcali.

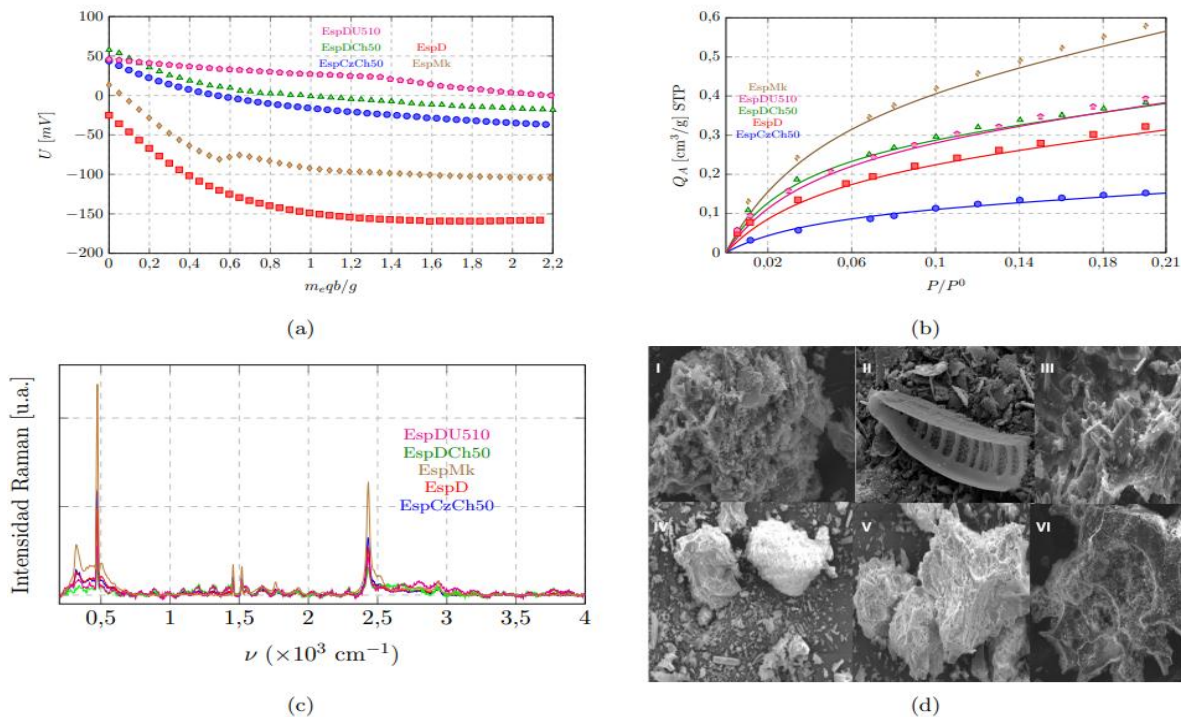
De esta manera se sintetizaron varios tipos de geopolímeros a partir de una mezcla compuesta (en peso) por un 70 % de silicato de sodio, 8,65 % de hexafluorosilicato de sodio y 0,050 % de silicio metálico. El 21,30 % restante fue modificado mediante la incorporación de diferentes aluminosilicatos: diatomea (EspD), mezcla de diatomea-quitosano al 50 % (EspDCh50), diatomea-urea en proporción 5:10 (EspDU5-10), metacaolín (EspMk), y cenizas volcánicas (provenientes del Complejo Volcánico Caulle - Puyehue) combinadas con quitosano al 50 % (EspCzCh50).

Los sistemas fueron caracterizados mediante diversas técnicas fisicoquímicas: titulación potenciométrica con n-butilamina, determinación propiedades Texturales por adsorción de N<sub>2</sub> (BET), espectroscopia Raman, microscopía electrónica de barrido (SEM-EDS), e higroscopicidad mediante speckle dinámico.

Los resultados indicaron que, si bien las áreas superficiales totales no son particularmente elevadas, los materiales presentan buena estabilidad, homogeneidad y una adecuada presencia de sitios ácidos fuertes, características que los hacen aptos como posibles soportes catalíticos. En la figura 1 se muestra la caracterización de algunas de las muestras mencionadas.







**Figura 1.** Caracterización de algunas de los geopolimeros sintetizados a) Acidez con n-butilamina, b) Isoterma BET c) Espectros Raman d) Imágenes SEM I(EspD), II (Diatomea) III (EspDU5-10), IV(EspDC50), V(EspCzCh50), VI(EspMk)

## Referencias:

- Capasso, I. (2017). Design and synthesis of hybrid ceramic foams with tailored porosity (Doctoral dissertation, doktorska disertacija., University of Naples Federico II, Napoli).
- Salahuddin, M. M., Norkhairunnisa, M., & Mustapha, F. (2015). A review on thermophysical evaluation of alkali-activated geopolymers. *Ceramics International*, 41(3), 4273-4281.
- Verdolotti, L., D'Auria, M., Lavorgna, M., Vollaro, P., Iannace, S., Capasso, I., Galzerano, B., Caputo, D., & Liguori, B. (2016, May). Organic-inorganic hybrid foams with diatomite addition: Effect on functional properties. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1736, No. 1). AIP Publishing.
- Zheng, J., Li, X., Bai, C., Zheng, K., Wang, X., Sun, G., Zheng, T., Zhang, X., & Colombo, P. (2024). Rapid fabrication of porous metakaolin-based geopolymer via microwave foaming. *App. Clay Sci.*, 249, 107238



## Desarrollo de catalizadores mesoporosos renovables para la remoción de colorantes mediante procesos avanzados de oxidación.

**Sergio Tomas Farias Padilla<sup>a\*</sup>, Eliana Pecini<sup>b</sup>, Maximiliano Brigante<sup>b</sup>, Verónica Rita Elías<sup>a</sup>, Eliana Gabriela Vaschetto<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> [tomaspadilla0412@gmail.com](mailto:tomaspadilla0412@gmail.com), Centro de Investigación y Tecnología Química, Universidad Tecnológica Nacional, CONICET, FRC, Córdoba, Argentina.

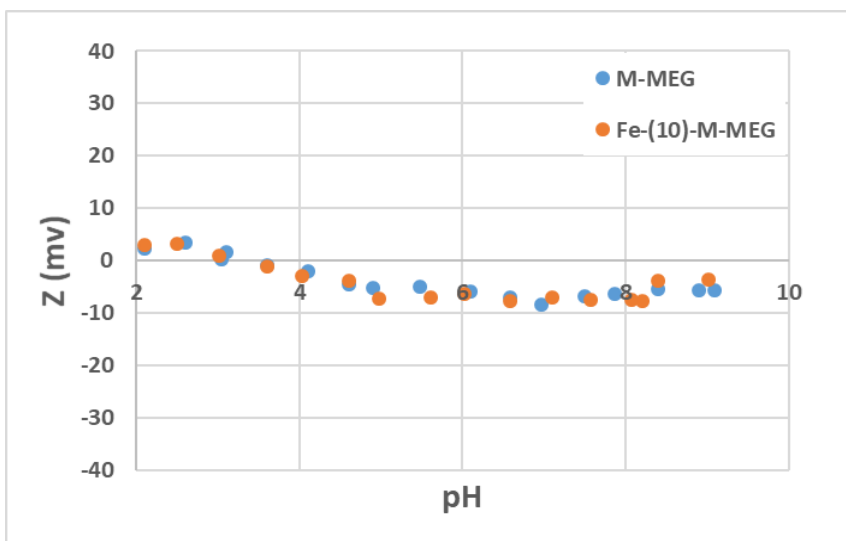
<sup>b</sup> Instituto de Química del Sur (INQUISUR, UNS-CONICET), Departamento de Química, Universidad Nacional del Sur (8000) Bahía Blanca, Argentina.

**Palabras clave:** Sílices mesoporosas sustentables, oxidación húmeda con aire, catálisis sostenible

### Resumen

Los colorantes azoicos constituyen una familia de compuestos sintéticos esenciales para la industria global, con una producción destinada al teñido de textiles, cueros, alimentos y cosméticos. Dada su alta solubilidad y estabilidad, estos contaminantes persisten en los ecosistemas acuáticos, presentando riesgos carcinogénicos y mutagénicos para diversos organismos (Batoool et al., 2014). Por lo tanto, resulta de vital importancia implementar tratamientos de degradación eficaces. Dentro de las tecnologías disponibles, la oxidación húmeda con aire (OHA) se destaca por su capacidad de mineralizar contaminantes orgánicos refractarios y mediante la incorporación de un catalizador sólido al sistema, este permite promover la formación de radicales en la superficie, acelerar la cinética de reacción y operar bajo condiciones de presión y temperatura más moderadas (Vaschetto et al., 2022). En este ámbito, las sílices mesoporosas han revolucionado la catálisis gracias a su elevada área específica y volumen de poro. Sin embargo, su síntesis convencional suele depender de agentes plantilla costosos y no renovables. Frente a este desafío, el presente trabajo propone el desarrollo de catalizadores sostenibles utilizando monoestearato de glicerilo (MEG) como moldeante renovable. Mediante la ruta sol-gel y un posterior tratamiento hidrotérmico, se obtuvieron la matriz (M-MEG) y el material funcionalizado con hierro (Fe-(10)-M-MEG). Mediante isoterma de adsorción/desorción de N<sub>2</sub> se evidenció mesoporosidad y se confirmaron por microscopía electrónica de transmisión, donde se observó un ordenamiento hexagonal de poros con mesocanales longitudinales rectos y paralelos. Por otro lado, el análisis por FTIR permitió identificar la presencia de silanoles vecinales/terminales y silanoles nidos; la señal de estos últimos disminuye en Fe-(10)-M-MEG, lo que podría atribuirse al anclaje de las especies de hierro en dichos sitios. Finalmente, la composición metálica se constató mediante ICP y SEM-EDS, verificando la existencia del metal en la estructura. El análisis del potencial en función del pH reveló que ambas muestras poseen un comportamiento similar, con un punto isoeléctrico (PIE) cercano a 3, tal como se muestra en la Figura 1. Este resultado, obtenido mediante barridos de pH, es consistente con los valores característicos reportados para sílices porosas.





**Figura 1.** Movilidad Electroforética de los sólidos sintetizados

Los materiales se evaluaron en la degradación de AO7 mediante OHA bajo condiciones ambientales. Inicialmente, M-MEG mostró una remoción superior (65,69%) frente al sólido con Fe (26,57%); al sustituir aire por N<sub>2</sub>, la remoción de la matriz aumentó significativamente mientras que la del Fe-(10)-M-MEG disminuyó. Este comportamiento, junto a los resultados de FTIR, sugiere que la matriz actuaría como adsorbente del colorante a través de los silanoles nidos, sitios que en el catalizador modificado se encuentran ocupados por el anclaje del Fe. Tras cinco semanas de almacenamiento, las muestras del medio de reacción utilizando Fe-(10)-M-MEG alcanzaron un 87% de remoción, mientras que el de la matriz permaneció prácticamente constante, evidenciando mecanismos diferenciados. Mediante ensayos de quenching con metanol se evaluó detener la degradación alcanzada en procesos mediados por radicales, esto fue confirmado para el sólido con Fe, a diferencia del mecanismo de absorción predominante en la matriz pura. Por lo tanto, puede concluirse que se sintetizaron exitosamente sílices mesoporosas mediante la técnica sol-gel y el uso de plantilla renovable. La evaluación en la degradación de AO7 por OHA a temperatura ambiente y presión atmosférica reveló mecanismos diferenciados: mientras que la matriz opera predominantemente por adsorción a través de silanoles nidos, el sólido modificado con Fe promueve una degradación catalítica mediada por radicales libres. Estos resultados resaltan la viabilidad de emplear materiales sostenibles y la importancia de discernir las rutas de remoción para optimizar el tratamiento de efluentes acuosos.

## Referencias:

- Batool, S., Akib, S., Ahmad, M., Balkhair, K. S., & Ashraf, M. A. (2014). *Journal of Nanomaterials*, 2014, Artículo 864914. <https://doi.org/10.1155/2014/864914>
- Vaschetto, E. G., Ochoa Rodríguez, P. A., Casuscelli, S. G., Elías, V. R., & Eimer, G. A. (2022). *Catalysis Today*, 394–396, 143-149. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2021.10.016>



# Evaluación del desempeño en biocatálisis de sílicas mesoporosas renovables modificadas con Ca para la producción de saborizantes

**Germán Carrillo<sup>a\*</sup>, Eliana Gabriela Vaschetto<sup>a</sup>, Gabriel Orlando Ferrero<sup>b</sup>, Griselda Alejandra Eimer<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> Centro de Investigación y Tecnología Química, Universidad Tecnológica Nacional, CONICET, FRC, Córdoba, Argentina.

<sup>b</sup> Centro de Investigaciones en Química Biológica de Córdoba (CIQUIBIC-CONICET), Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

\* [gcarrillo@frc.utn.edu.ar](mailto:gcarrillo@frc.utn.edu.ar)

**Palabras clave:** Nanomateriales renovables; biocatalizadores mesoporosos; interacción enzima-metal; producción de ésteres de sabor.

## Resumen

La inmovilización enzimática en materiales mesoporosos para biocatálisis heterogénea representa una estrategia prometedora en la producción sostenible de ésteres de sabor. En este sentido, la modificación de estos soportes con ciertos metales puede influir en la interacción enzima-soporte, afectando tanto la actividad y la estabilidad enzimática, como la reutilización del biocatalizador. Se ha reportado que la presencia de calcio en materiales tipo SBA-15 puede mejorar la actividad de biocatalizadores híbridos en la producción de biodiesel, debido a una interacción favorable en la superficie del soporte (Ferrero et al., 2016). Por tal motivo, en este trabajo se investigó el efecto de la modificación de sílicas mesoporosas renovables con calcio y su impacto en el comportamiento catalítico en la producción de un éster de sabor por vía enzimática. El soporte fue sintetizado a partir de un surfactante renovable, Monoestearato de Glicerilo (MEG) (Carrillo et al., 2025, Vaschetto et al., 2023), con un tratamiento hidrotérmico de 1 día. La mesoporosidad de los materiales fue evidenciada por isoterma de adsorción/desorción de N<sub>2</sub> y confirmada por Microscopía de Transmisión Electrónica (TEM). La sílica fue modificada con calcio (1; 2,5 y 5.0 %p/p), determinando los contenidos reales del metal por medio de Microscopía Electrónica de Barrido con Espectroscopía de Energía Dispersiva de Rayos X (SEM-EDS). Finalmente se realizó la inmovilización por adsorción de la lipasa de *Pseudomonas fluorescens* (L<sub>pf</sub>) en todos los soportes. Los biocatalizadores obtenidos fueron evaluados en la producción de acetato de isoamilo (un éster con fragancia a banana) a partir de la transesterificación entre acetato de vinilo y alcohol isoamílico a 40 °C y P<sub>atm</sub>. En la Tabla 1 se resumen los parámetros enzimáticos de los diferentes biocatalizadores obtenidos. Como se puede observar, el biocatalizador con menor contenido de calcio (≈0,6 %p/p) duplicó la conversión (≈44 %mol a 2h) respecto al material sin Ca. A pesar de que todos los materiales modificados con Ca superaron la actividad específica del biocatalizador no modificado (M-MEG/L<sub>pf</sub>), mayores contenidos metálicos no se tradujeron en una mejora en la conversión. En paralelo, la eficiencia de inmovilización disminuyó a medida que aumentó el Ca en los sólidos, lo que limitaría la aplicabilidad de estos catalizadores en ciclos sucesivos (a pesar de presentar un aumento de la actividad enzimática), principalmente por pérdidas asociadas a lixiviado de proteína. En conjunto, estos resultados evidencian la existencia de un contenido óptimo de calcio que maximiza el desempeño global del biocatalizador, resultado de un compromiso entre la actividad específica, la conversión y la eficiencia de inmovilización.



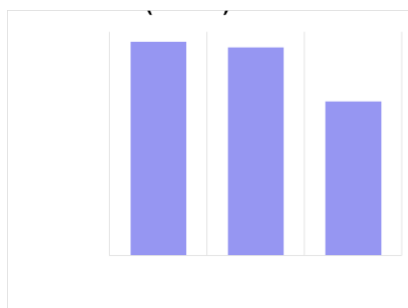
**Tabla 1.** Contenido real de Ca en las matrices silíceas y parámetros enzimáticos de los biocatalizadores.

| Catalizador                   | Contenido real de Ca (%p/p) <sup>a</sup> | Eficiencia de Inmovilización (%) | Conversión a 2h (mol %) | Actividad específica <sup>b</sup> |
|-------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| M-MEG/L <sub>pf</sub>         | -                                        | <b>82,91</b>                     | <b>24,23</b>            | <b>1,06</b>                       |
| Ca(1)/M-MEG/L <sub>pf</sub>   | <b>0,56</b>                              | <b>58,72</b>                     | <b>43,11</b>            | <b>2,65</b>                       |
| Ca(2,5)/M-MEG/L <sub>pf</sub> | <b>1,65</b>                              | <b>14,60</b>                     | <b>19,13</b>            | <b>4,74</b>                       |
| Ca(5)/M-MEG/L <sub>pf</sub>   | <b>1,72</b>                              | <b>11,35</b>                     | <b>19,19</b>            | <b>6,11</b>                       |

<sup>a</sup> Determinado por SEM-EDS

<sup>b</sup> mgacetato de isoamilo min<sup>-1</sup> mg<sup>-1</sup> lipasa

A partir de los resultados mostrados en la Tabla 1, se seleccionó el Ca(1)/M-MEG/L<sub>pf</sub> como el biocatalizador con mejor performance catalítica, por lo que fue evaluado en estudios de reutilización. Dichos ensayos (Fig. 1) evidenciaron una adecuada estabilidad operativa, conservándose hasta el 72 % de la actividad inicial tras tres ciclos catalíticos. Esto indica una buena retención de la enzima sobre el soporte y una resistencia significativa a la desactivación.



**Figura 1.** Conversión de acetato de vinilo a 2h de reacción luego de tres ciclos catalíticos para el biocatalizador Ca(1)/M-MEG/L<sub>pf</sub>. Condiciones de reacción: 40° C, P<sub>atm</sub>.

En conclusión, este trabajo permitió explorar la síntesis de materiales mesoporos novedosos derivados de MEG y modificados con Ca. Los resultados demostrarían que se logra un efecto sinérgico entre el metal disperso en la superficie del soporte y la enzima para concentraciones metálicas bajas. Así, los materiales desarrollados se posicionan como plataformas enzimáticas eficientes para la producción sostenible de saborizantes mediante biocatálisis heterogénea.

## Referencias

- Carrillo, G., Vaschetto, E. G., Ferrero, G. O. & Eimer, G. A. (2025). *Microporous and Mesoporous Materials*, 387, 113536. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2025.113536>
- Ferrero, G. O., Rojas, H. J., Argaraña, C. E. & Eimer, G. A. (2016). *Journal of Cleaner Production*, 139, 495–503. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.08.047>
- Vaschetto, E. G., Ochoa Rodríguez, P. A., Pérez Pariente, J. & Eimer, G. A. (2023). *Microporous and Mesoporous Materials*, 360, 112719. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2023.112719>





## ZnO sobre un material composite como catalizador altamente selectivo de reacciones de hidrogenación de alquinos.

Isabel Agudelo<sup>a</sup>, Luis Fernando Valencia<sup>b</sup>, Carolina Betti<sup>c</sup>, Juan Badano<sup>d</sup>, Aída Luz Villa<sup>e</sup>, Cecilia Lederhos<sup>f,\*</sup>

<sup>a</sup> [iagudelo@fiq.unl.edu.ar](mailto:iagudelo@fiq.unl.edu.ar), Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (FIQ, UNL-CONICET), Colectora RN 168, 3000, Santa Fe, Argentina

<sup>b</sup> [luis.valenciac@udea.edu.co](mailto:luis.valenciac@udea.edu.co), Universidad de Antioquia, Calle 70 No. 52-21, Medellín, Colombia

<sup>c</sup> [cbetti@fiq.unl.edu.ar](mailto:cbetti@fiq.unl.edu.ar), Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (FIQ, UNL-CONICET), Colectora RN 168, 3000, Santa Fe, Argentina

<sup>d</sup> [jbadano@fiq.unl.edu.ar](mailto:jbadano@fiq.unl.edu.ar), Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (FIQ, UNL-CONICET), Colectora RN 168, 3000, Santa Fe, Argentina

<sup>e</sup> [aida.villa@udea.edu.co](mailto:aida.villa@udea.edu.co), Grupo Catálisis Ambiental, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Calle 70 No. 52-21, Medellín, Colombia

<sup>f</sup> [clederhos@fiq.unl.edu.ar](mailto:clederhos@fiq.unl.edu.ar), Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (FIQ, UNL-CONICET), Colectora RN 168, 3000, Santa Fe, Argentina

**Palabras clave:** Composite, hidrogenación, alquinos, alquenos

### Resumen

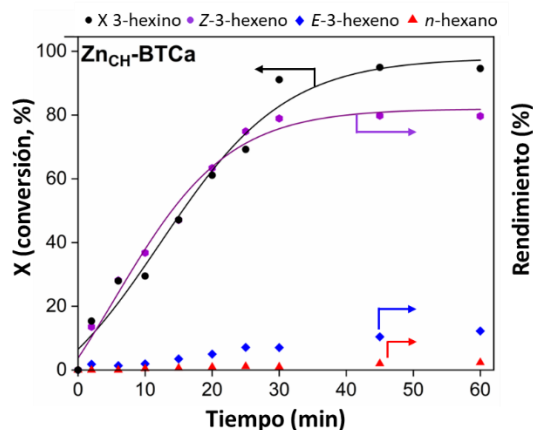
El presente trabajo propone una solución catalítica eficiente y sostenible para la valorización de corrientes industriales. Mediante el uso de catalizadores de Zn soportado en un material composite, se aborda la hidrogenación selectiva de alquinos no solo como un proceso químico, sino como una estrategia de purificación que transforma impurezas en materia prima de alto valor agregado como son las olefinas. Esta propuesta contribuye a la sostenibilidad global al fomentar el uso de metales no nobles y optimizar la eficiencia en sectores clave como el petroquímico y farmacéutico, promoviendo la implementación de procesos circulares y tecnologías limpias en contextos industriales reales [Zhao et al., 2022]. El material usado como soporte fue sintetizado usando una mezcla de monómeros BGMA (dimetacrilato de glicerolato de bisfenol A) y TEG (dimetacrilato de trietilenglicol) como fase orgánica, añadiendo el  $\text{CaCO}_3$  como fase inorgánica, siguiendo la técnica patentada por el grupo GAP de INCAPE [Badano et al., 2009]. La deposición del Zn como fase activa sobre el material composite, se llevó a cabo siguiendo el método químico detallado previamente [Valencia et al., 2025]. El catalizador obtenido denominado  $\text{Zn}_{\text{CH}}\text{-BTCa}$  fue caracterizado por ICP, TPD- $\text{CO}_2$ , DRX, XPS, TEM y SEM. La reacción de hidrogenación se realizó en un reactor batch (slurry) tipo PARR a 303 K, 150 kPa y 800 rpm con un volumen total de 49 mL de una solución de 3-hexino al 2%  $\text{v/v}$  en tolueno. Reactivos y productos fueron analizados por GC con detector FID y columna capilar GS-GASPRO.

Los resultados indican por ICP un contenido de 0,8 %  $\text{m/m}$  Zn en el catalizador final. Por DRX se observaron los picos característicos de la fase inorgánica del soporte ( $\text{CaCO}_3$ ) y los correspondientes a señales de ZnO [Nibou et al., 2010], arrojando un tamaño de cristalito de 13,3 nm. La característica básica del catalizador fue corroborado por TPD- $\text{CO}_2$  [Valencia et al., 2025], debido principalmente al soporte. A partir de XPS (**Tabla 1**) se observan dos señales correspondientes a la región de Zn  $2p_{3/2}$ , atribuidas mayoritariamente a especies de ZnO y especies de Zn interaccionando fuertemente con el soporte.



**Tabla 1.** Resultados de SEM-EDX, XPS y TEM del soporte y catalizador.

| Muestra                | SEM-EDX (%) |      |      |     | XPS                         | $d_{(TEM)}$<br>(nm) |
|------------------------|-------------|------|------|-----|-----------------------------|---------------------|
|                        | C           | O    | Ca   | Zn  | Zn 2p <sub>3/2</sub> (eV)   |                     |
| BTCa                   | 41,4        | 33,6 | 25,0 | --  | --                          | --                  |
| Zn <sub>CH</sub> -BTCa | 47,4        | 27,9 | 20,4 | 4,3 | 1022,1 (94%)<br>1023,8 (6%) | 175 nm              |



**Figura 1.** Conversión (, %) y Rendimiento (%) a los diferentes productos: Z-3-hexeno (●), E-3-hexeno (▲) y n-hexano (▲), en función del tiempo.

En la **Fig. 1** se grafica la conversión del reactivo (3-hexino) y los rendimientos de los productos obtenidos en función del tiempo de reacción. Los resultados indican que el catalizador Zn<sub>CH</sub>-BTCa es activo a la reacción de hidrogenación selectiva de 3-hexino, obteniendo principalmente el isómero Z-3-hexeno, el producto deseado, con un rendimiento del 80% a partir de los 30 min de reacción. Otros productos fueron observados como el E-3-hexeno con un máximo de 10% de rendimiento a los 60 min de reacción, y n-hexano < 5%. La elevada selectividad se debe a la presencia de especies ZnO observadas por XPS, las cuales favorecen la disociación del hidrógeno molecular. La presencia de sitios ácidos de Lewis (asociados al ZnO) facilita la desorción del Z-3-hexeno deseado, evitando su sobrehidrogenación o isomerización adicional, mejorando así su selectividad. Zn<sub>CH</sub>-BTCa permite una hidrogenación altamente selectiva de alquinos hacia Z-olefinas, ofreciendo una alternativa sostenible y eficiente mediante el uso de metales no nobles.

## Referencias:

- Badano, J.M., Lederhos, C.R., Quiroga, M., L'Argentièrre, P., Betti, C., Vera, C.R., Rintoul, I., Gugliotta, L. (2009) *Soporte de catalizador y catalizador de los del tipo cáscara de huevo elaborado con dicho soporte y sus procesos de producción* (Patent N° P-090103151), INPI Argentina
- Nibou, D., Amokrane, S., Lebaili, N. (2010) *Desalination* 250, 459–462, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.09.076>
- Valencia, L.F., Agudelo, I., Badano, J., Quiroga, M., Betti, C., Lederhos, C., Villa, A.L. (2025) *Molecular Catalysis* 578, 115012. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2025.115012>
- Zhao, X., Chang, Y., Chen, W-J., Wu, Q., Pan, X., Chen, K., Weng, B., (2022) *ACS Omega*, 7, 1 17–31. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c06244>



# **Estudio de parámetros de la técnica de deposición de capa atómica (ALD) para la síntesis de catalizadores de NiO soportado en alúmina.**

Esmeralda Lopez Bottai, Viviana G. Milt, Juan P. Bortolozzi, Paula Brussino\*

<sup>a</sup> [pbrussino@fiq.unl.edu.ar](mailto:pbrussino@fiq.unl.edu.ar), INCAPE (UNL-CONICET), Santa Fe (3000), Argentina.

**Palabras clave:** catalizadores, NiO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ALD, FTIR.

## **Resumen**

Los catalizadores juegan un rol clave en una amplia gama de procesos industriales. Debido a esto, el diseño racional de formulaciones catalíticas que permita maximizar la eficiencia es de suma importancia. Sin embargo, los métodos de síntesis convencionales no poseen control a nivel atómico, lo que deriva en catalizadores que poseen una distribución de sitios activos y tamaños de partícula heterogéneos [1]. Estos aspectos podrían mejorarse empleando la técnica de deposición de capa atómica (ALD, Atomic Layer Deposition), la cual ha demostrado ser efectiva en el control de la síntesis a escala atómica, mejorando parámetros como actividad, selectividad y estabilidad [2]. La misma se basa en la reacción de un precursor organometálico sublimado con los sitios OH del sustrato/soporte, seguida, en este caso, de una calcinación para obtener el material catalítico final. De esta forma, el objetivo de este trabajo es estudiar distintos parámetros del proceso ALD, como temperatura de pretratamiento y tiempo de sublimación, con el fin de depositar óxido de níquel en alúmina.

**Tabla 1.** Asignaciones de bandas observadas por DRIFTS in-situ del soporte y FTIR de las muestras.

| Banda             | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Ni(acac) <sub>2</sub>        | 15 min                       | 120 min                      |
|-------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| v-OH              | ~ 3450 cm <sup>-1</sup> ↓      | -                            | ~ 3450 cm <sup>-1</sup>      | ~ 3450 cm <sup>-1</sup>      |
| P-H-O-H           | 1640 cm <sup>-1</sup> ↓        | -                            | 1640 cm <sup>-1</sup>        | 1640 cm <sup>-1</sup>        |
| t-OH              | 3760 cm <sup>-1</sup> ↑        | -                            | -                            | -                            |
| p-OH              | 3620 cm <sup>-1</sup> ↓        | -                            | -                            | -                            |
| v-(C=O)/v-(C=C)   |                                |                              | 1570/1540 cm <sup>-1</sup>   | 1570/1540 cm <sup>-1</sup>   |
|                   | n. c.                          | 1600/1517 cm <sup>-1</sup>   |                              |                              |
| δ-CH <sub>3</sub> | n. c.                          | 1400 y 1456 cm <sup>-1</sup> | 1400 y 1456 cm <sup>-1</sup> | 1400 y 1456 cm <sup>-1</sup> |

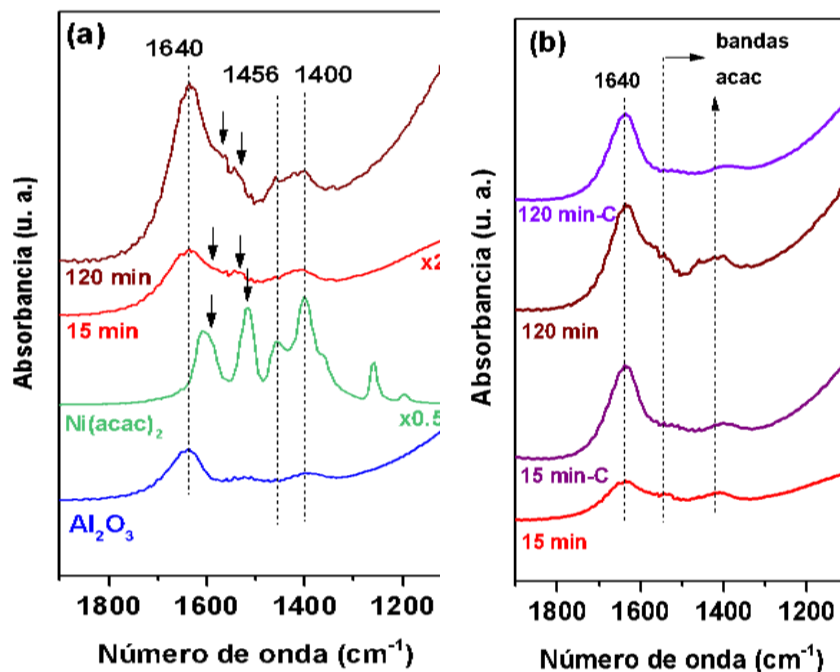
v: estiramiento, P: flexión (ambos correspondientes a agua fisisorbida), t: terminal, p: puente. Las flechas hacia abajo indican la disminución de la intensidad de la banda con el aumento de la temperatura.

Para la deposición de níquel se empleó como Ni(acac)<sub>2</sub> como precursor y γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> como soporte (Puralox SBa230, 230 m<sup>2</sup>/g). Previamente, se realizó un estudio mediante espectroscopia IR de Reflectancia Difusa (DRIFTS) in-situ a diferentes temperaturas, con el fin de analizar la presencia de los sitios OH terminales (t-OH) y puentes (p-OH) del soporte, y la temperatura a la cual se pierde el agua fisisorbida (v-OH y P-H-O-H) (**Tabla 1**). Del análisis de los espectros y de resultados de TGA-FTIR (no se muestran) se determinó que a 300 °C se perdió completamente el agua fisisorbida y los sitios OH terminales se encontraron disponibles para la reacción con el precursor organometálico.

Por otro lado, se analizaron espectros IR de transmisión a temperatura ambiente de las muestras preparadas empleando 15 y 120 minutos de sublimación (**Figura 1**), previo a la calcinación (a) y luego de la misma (b). El objetivo fue estudiar la presencia o ausencia de las bandas características de los ligandos



tipo acetilacetonato (acac). Tanto empleando 15 como 120 minutos de sublimación se observó la presencia de ligandos en la superficie de las muestras reaccionadas sin calcinar (**Figura 1.a y Tabla 1**), aunque la intensidad de las mismas fue mayor para el tiempo de sublimación más elevado. Asimismo, en ambos casos al calcar la muestra a 500 °C por 1 h (x min-C) se logró descomponer estos ligandos para formar el óxido de níquel (**Figura 1.b**).



**Figura 1.** Espectros FTIR del soporte ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), precursor organometálico ( $\text{Ni}(\text{acac})_2$ ), muestras sin calcinar de 15 minutos y 120 minutos de sublimación (a) y espectros FTIR de las muestras antes (x min) y después de calcar (x min-C) (b).

En conclusión, la temperatura seleccionada para el pretratamiento del soporte fue de 300 °C, porque asegura que la alúmina se encuentre libre de agua fisisorbida que podría interaccionar con sitios OH terminales. Eso implicaría que estos no estuvieran disponibles para la reacción con el precursor de níquel. Asimismo, se seleccionó como tiempo de sublimación 120 minutos porque permite que una mayor cantidad de precursor reaccione con la alúmina, considerando que debe difundir a través del lecho e ingresar en los poros del soporte.

## Referencias:

- [1] Gould, T.D., Lubers, A.M., Neltner, B.T., Carrier, J. V., Weimer, A.W., Falconer, J.L., Medlin, J.W. J. Catal. (2013), 303, 9–15.
- [2] O'Neill, B.J., Jackson, D.H.K., Lee, J., Canlas, C., Stair, P.C., Marshall, C.L., Elam, J.W., Kuech, T.F., Dumesic, J.A., Huber, G.W. ACS Catal. (2015), 5, 1804–1825.



# Desarrollo de pastas cerámicas para impresión 3D de sustratos catalíticos de cordierita.

**Natalia L. Courtalón<sup>a\*</sup>, Ezequiel D. Banús<sup>a</sup>, Juan P. Bortolozzi<sup>a</sup>, Franco M. Stabile<sup>b</sup>, Nicolás M. Rendtorff<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE-CONICET), Santa Fe, Argentina.

<sup>b</sup> Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CETMIC-CONICET), La Plata, Argentina.

\* [ncourtalon@fiq.unl.edu.ar](mailto:ncourtalon@fiq.unl.edu.ar)

**Palabras clave:** impresión 3D, robocasting, sustrato catalítico, pasta cerámica.

## Resumen

La impresión 3D revolucionó la forma de idear y fabricar objetos, permitiendo la obtención de geometrías que no serían posibles con las tecnologías de manufactura tradicionales. En la actualidad existen múltiples técnicas de impresión 3D en función del estado de la materia prima y de la tecnología utilizada para la generación del cuerpo sólido. En el área de catálisis, la impresión 3D permite la obtención de reactores catalíticos y de catalizadores estructurados, con morfologías que pueden mejorar los fenómenos de transferencia de materia (Parra-Cabrera et al., 2018).

Los monolitos tipo “panal de abeja” o “*honeycomb*” de cordierita son ampliamente utilizados como sustratos de catalizadores heterogéneos. La cordierita es un silicato mixto de aluminio y magnesio ( $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot 2\text{MgO}$ ) caracterizado por tener elevada resistencia y bajo coeficiente de expansión térmica (Govender & Friedrich, 2017), lo cual la hace ideal para aplicaciones donde la temperatura varía en un amplio rango. Como desventaja, la geometría de estos sistemas no permite el desarrollo de flujos turbulentos.

El presente trabajo tiene por objetivo el desarrollo de una formulación precursora de cordierita para ser utilizada como “tinta” en la impresión 3D de sustratos catalíticos mediante la técnica de “*robocasting*”. Se pretende también determinar las condiciones de pos-procesamiento para la adecuada consolidación de la cordierita, así como obtener de sustratos con geometrías complejas.

Para su preparación se utilizó pseudobohemita, talco y arcilla (Río Blanco) en proporciones adecuadas para asegurar la composición estequiométrica de la cordierita. Se estudió el efecto de la cantidad de sólidos y la concentración de ácido acético en las formulaciones de las pastas precursoras. Posteriormente, se realizaron pruebas de impresión 3D.

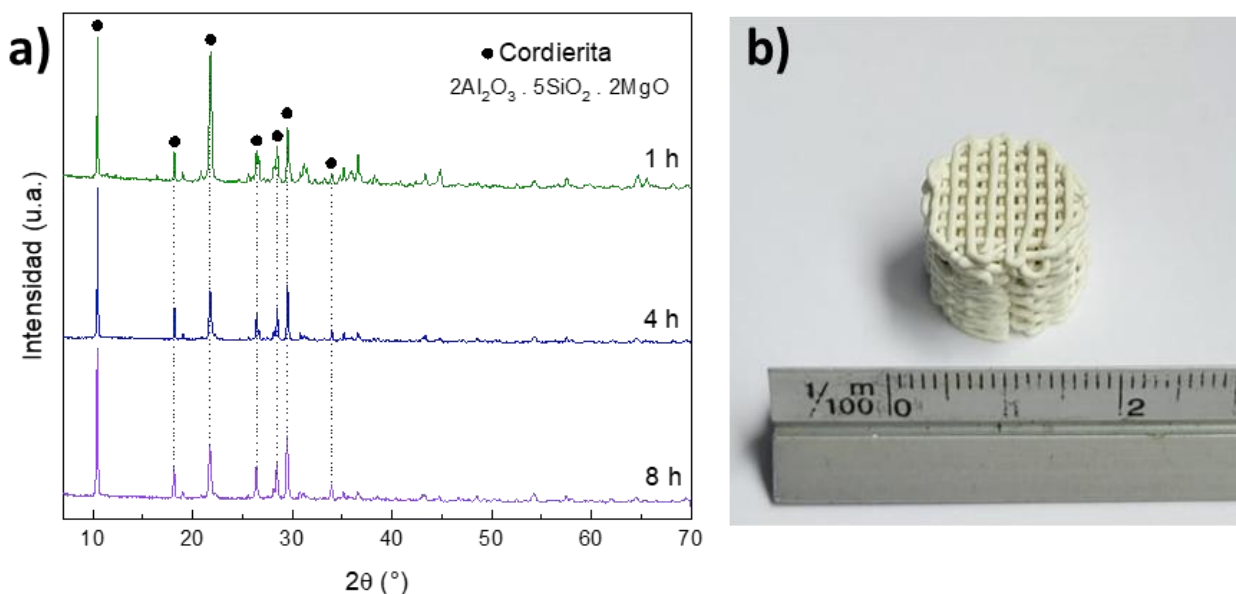
Todas las pastas con 60 %p de sólidos lograron impresiones aceptables, aunque algunas presentaron inconvenientes en la adherencia entre las capas depositadas. La formulación con 60 %p de sólidos y relación de ácido acético de 3,14 fue la que presentó impresiones con las mejores características: elevada adherencia entre capas y correcta retención de la forma.

Conjuntamente, se estudió el tratamiento térmico adecuado para la formación de la cordierita a partir de los precursores. Para ello se confeccionaron discos de pasta precursora de 21 mm de diámetro y se calcinaron a 1200 °C durante 1, 4 y 8 h. Se obtuvieron los patrones de Difracción de Rayos X (DRX) de las muestras. En todos los difractogramas se encontraron las señales correspondientes a la cordierita (Figura 1.a). Sin embargo, en las muestras tratadas durante 1 h se observaron también numerosos picos correspondientes





a los componentes precursores. Estos picos disminuyeron su intensidad en las muestras tratadas por tiempos más prolongados. A su vez, la intensidad de las señales de cordierita se incrementó en dichas muestras, indicando un mayor grado de desarrollo de la estructura cristalina. Posteriormente, se imprimieron en 3D estructuras tipo “woodpile” con la mejor formulación preparada y se calcinaron a 1200 °C durante 8 h (Figura 1.b).



**Figura 1.a.** Patrones de difracción para las muestras calcinadas a 1200°C durante diferentes tiempos. **b.** Monolito impreso en 3D con estructura “woodpile”.

Se lograron formular satisfactoriamente pastas precursoras de cordierita, con adecuada reología para su impresión 3D mediante la técnica de *robocasting*, estableciendo los procedimientos y condiciones de pos-procesamiento para la consolidación de la cordierita. A partir de las formulaciones desarrolladas se imprimieron estructuras tipo *woodpile*, adecuadas para su utilización como sustratos de catalizadores estructurados.

## Referencias:

- Govender, S., Friedrich, H. (2017). *Catalysts*, 7(2), 62. <https://doi.org/10.3390/catal7020062>
- Parra-Cabrera, C., Achille, C., Kuhn, S., & Ameloot, R. (2018). *Chemical Society Reviews* (Vol. 47, Number 1, pp. 209–230). <https://doi.org/10.1039/c7cs00631d>



# **Bionanofluidos basados en enzimas de semillas de melón (cucumis melo) y girasol (*Helianthus annuus*) funcionalizadas con nanopartículas para procesos de recuperación mejorada de petróleo (EEOR).**

Karol Zapata<sup>a\*</sup>, Frank Viveros<sup>b</sup>, Esteban Taborda<sup>b</sup>, Camilo A. Franco<sup>b</sup>, Farid B. Cortes<sup>b</sup>.

<sup>a</sup> [kzapata@unal.edu.co](mailto:kzapata@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>b</sup> [fviverosa@unal.edu.co](mailto:fviverosa@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>b</sup> [eatabord@unal.edu.co](mailto:eatabord@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>b</sup> [caafrancoar@unal.edu.co](mailto:caafrancoar@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín

<sup>b</sup> [fbcortes@unal.edu.co](mailto:fbcortes@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Medellín

**Palabras clave:** Enzimas, Crudo, Sostenibilidad, Energía.

## **Resumen**

La recuperación mejorada de petróleo (EOR) busca maximizar la extracción de crudo más allá de su producción natural (recuperación primaria) y por empuje con agua (recuperación secundaria) sin necesidad de explorar nuevos yacimientos, tal como lo propone la agenda verde de muchas naciones (Hui et al., 2020). Como métodos EOR se tiene protocolos térmicos, químicos y de inyección de gas, sin embargo, los métodos químicos EOR destacan por su menor consumo energético, mayor flexibilidad y costos operativos reducidos, aunque enfrentan desafíos como la adsorción y degradación de los agentes, además de preocupaciones ambientales (Kamari, Nikookar, Sahranavard, & Mohammadi, 2014).

En este contexto, el uso de compuestos derivados de residuos agroindustriales como biosurfactantes, biopolímeros y compuestos fenólicos, emerge como una alternativa sostenible y económica, capaz de mejorar la movilidad del crudo y alcanzar recuperaciones de hasta el 60 % si se combina con nanotecnología (Maleki, Kazemzadeh, Dehghan Monfared, Hasan-Zadeh, & Abbasi, 2024), al tiempo que promueve la economía circular y reduce la toxicidad, sin embargo, pese a los avances en relación al uso de productos naturales, el uso de enzimas en nanofluidos sigue siendo poco explorado, representando una oportunidad innovadora para catalizar transformaciones del crudo y actuar como surfactantes naturales (Xi, Ping, & Alikhani, 2021).

Esta propuesta aisló lipasas de residuos agroindustriales y las modificó mediante nanotecnología para procesos de EOR. Para ello, se obtuvieron extractos de enzimas a partir de semillas de girasol y melón. Simultáneamente, se sintetizaron, caracterizaron y utilizaron nanopartículas (Nps) ácidas ( $\text{SiO}_2$ ), neutras ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y básicas ( $\text{MgO}$ ) que fueron adicionadas al extracto natural bajo un diseño experimental. A continuación, se realizaron pruebas de eficiencia de desplazamiento de crudo a condición estática y dinámica. Los resultados corroboraron la obtención de nanopartículas ácidas, neutras y básicas, termoestables y en régimen nanométrico. Las pruebas de desempeño revelaron un efecto positivo al añadir lipasas (2 mg/L) y nanopartículas de  $\text{MgO}$  (100 mg/L) al agua, en lo que se llamó un bionanofluido, mejorando el parámetro de movilidad del fluido en comparación con el del agua hasta en un 2281%.

Las pruebas dinámicas en dispositivos de microfluídicas revelaron un aumento del factor de recuperación de crudo de hasta 2,2 veces utilizando bionanofluidos en comparación con el uso de agua (recobro secundario). Las lipasas tienden a activarse en la interfaz de los sistemas de doble polaridad, lo que explicaría sus propiedades capilares. Asimismo, la inclusión de nanopartículas de  $\text{MgO}$  aumenta la densidad de macromoléculas de lipasa (1017 moléculas de lipasa por g de nanopartícula) que pueden alojarse en la interfaz mejorando sus propiedades tensoactivas. El nanocomplejo se estabilizó mediante interacciones electrostáticas asociadas a potenciales de carga superficial de Lipasa- $\text{MgO}$ . Esta propuesta supone un avance significativo en la extracción de enzimas de residuos agroindustriales revalorizados, así



como en su aplicación en el sector energético, priorizando iniciativas para generar una explotación más limpia y sostenible.

## Referencias

Hui, K., Tang, J., Lu, H., Xi, B., Qu, C., & Li, J. (2020). Status and prospect of oil recovery from oily sludge: A review. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(8), 6523-6543.

Kamari, A., Nikookar, M., Sahranavard, L., & Mohammadi, A. H. (2014). Efficient screening of enhanced oil recovery methods and predictive economic analysis. *Neural Computing and Applications*, 25, 815-824.

Maleki, M., Kazemzadeh, Y., Dehghan Monfared, A., Hasan-Zadeh, A., & Abbasi, S. (2024). Bio-enhanced oil recovery (BEOR) methods: All-important review of the occasions and challenges. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 102(7), 2364-2390.

Xi, W., Ping, Y., & Alikhani, M. A. (2021). A review on biosurfactant applications in the petroleum industry. *International Journal of Chemical Engineering*, 2021(1), 5477185.



# Efecto del precursor en la impregnación de nanohebras de alúmina con cobre para la oxidación catalítica de 2-furaldehído

**Georgina Ortenzi<sup>a</sup>, Gaston Bianco<sup>a</sup>, Edward Peraza<sup>a</sup>, Candelaria Leal Marchena<sup>a</sup>.**

<sup>a</sup> [gortenzi@frc.utn.edu.ar](mailto:gortenzi@frc.utn.edu.ar), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Córdoba, Argentina. Centro de Investigación y Tecnología Química, Universidad Tecnológica Nacional, CONICET, FRC, Córdoba, Argentina.

**Palabras clave:** cobre, nanohebras, furfural, oxidación.

## Resumen

La pirólisis catalítica de biomasa lignocelulósica permite obtener bio-oils ricos en compuestos furánicos, entre los que destaca el 2-furaldehído (FUR) que, mediante oxidación catalítica, constituye una vía relevante para la obtención de compuestos de alto valor agregado, como el ácido maleico (MA) y otros, ampliamente utilizados en la industria química (Saleem *et al.*, 2017). Se han reportado distintos metales soportados y en fase homogénea, logrando rendimientos interesantes hacia MA cuando se empleó cobre (Shi *et al.*, 2011). En este contexto, se analizó cómo la impregnación con diferentes precursores de cobre (acetato, nitrato y sulfato) afecta las propiedades estructurales del soporte nanoestructurado mesoporoso; puntualmente nanohebras de  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  (NW); y la actividad catalítica de estos materiales en la oxidación de FUR.

Los materiales se caracterizaron por distintas técnicas analíticas destacando que conservan la estructura característica de la  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  luego de la incorporación del cobre, lo que indica que el proceso de impregnación no altera la fase del soporte. Además, la ausencia de señales asociadas a CuO sugiere que este se encuentra altamente disperso o en tamaños de partícula inferiores al límite de detección de difracción de rayos X (XRD). De los resultados de BET, tras la incorporación del metal, se observa una disminución del área superficial y del volumen de poro, atribuida al bloqueo parcial de los poros o a la formación de agregados metálicos (Tabla 1).

**Tabla 1.** Propiedades texturales de los catalizadores.

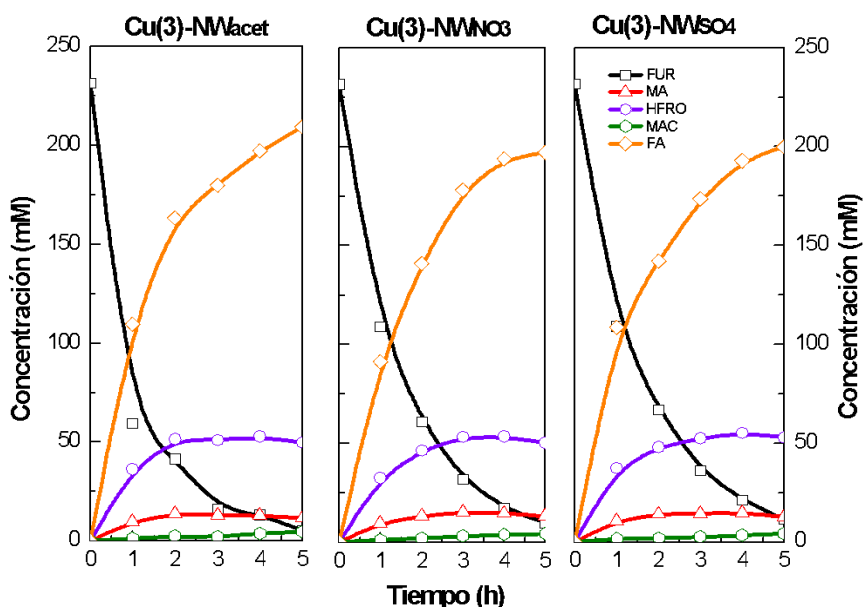
| Catalizador          | $S_{\text{BET}}$ ( $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ ) | $V_p$ ( $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ ) |
|----------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------|
| NW                   | 213                                             | 0,41                                  |
| CuNW <sub>SO4</sub>  | 193                                             | 0,39                                  |
| CuNW <sub>NO3</sub>  | 190                                             | 0,38                                  |
| CuNW <sub>acet</sub> | 173                                             | 0,34                                  |

Este efecto es más notable en la muestra preparada con la sal de acetato de Cu, posiblemente debido a menor radio iónico y menor movilidad iónica (Reyes-Vallejo *et al.*, 2022). Asimismo, la distribución de tamaño de poro (PSD) presenta un carácter bimodal (2,1 nm y 5 nm) que se mantiene luego de la impregnación, aunque con ligeros desplazamientos hacia mayores tamaños, posiblemente debido a la presencia de especies metálicas en la superficie de los poros aumentando ligeramente el tamaño de la ventana. Los estudios de espectroscopía UV-Vis muestran disminución de la banda entre 550-800 nm, implicando una alta dispersión de las partículas de CuO y un mejor contacto con el soporte, consistente con los resultados de XRD.

Los tres catalizadores evaluados presentan una alta conversión de FUR, ~95-98% a las 5 h de reacción. En cuanto a la distribución de productos, en la Figura 1 se observa que es similar y ningún catalizador fue



especialmente selectivo hacia el producto deseado con concentraciones máximas entre 13,8-15,2 mM. Por otro lado, los perfiles de concentración de MA y 5-hidroxi-2(5H)-furanona (HFRO) muestran sus máximos entre 2 y 3 h de reacción, respectivamente y luego decrecer levemente. La concentración de ácido fórmico (FA) aumenta progresivamente, por la pérdida requerida para convertir a FUR (C5) en sustancias C4, como de la sobreoxidación de compuestos intermediarios (Saleem *et al.*, 2017). Además, se observó un color marrón oscuro en el medio de reacción y en el catalizador recuperado, lo que podría indicar la formación de resinas insolubles. Estas envenenarían el catalizador comprometiendo la entrada y salida de moléculas a los sitios activos, favoreciendo la formación de FA (Shi *et al.*, 2011).



**Figura 1.** Concentración de FUR y productos mayoritarios de reacción con los distintos catalizadores.  
Condiciones de reacción: Catalizador=50 mg; relación molar  $H_2O_2$ /FUR=2,5;  $H_2O$ =15 mL; 60 °C.

Entre los catalizadores, Cu(3)-NW<sub>SO4</sub> muestra una leve tendencia a producir mayor cantidad de HFRO y MA y menor FA. Aunque las diferencias globales en la reacción de estudio son pequeñas, se observan ligeras diferencias lo que sugieren que la naturaleza del precursor del catalizador afecta al rendimiento general de la reacción.

## Referencias

- Reyes-Vallejo, O., Sánchez-Albores, R., Fernández-Madrigal, A., Torres-Arellano, S., & Sebastian, P. J. (2022). *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(54), 22775–22786. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.05.105>
- Saleem, F., Müller, P., Eränen, K., Warnå, J., Murzin, D. Y., & Salmi, T. (2017). *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 92(9), 2206–2220. <https://doi.org/10.1002/jctb.5248>
- Shi, S., Guo, H., & Yin, G. (2011). *Catalysis Communications*, 12(8), 731–733. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2010.12.033>





# Silíceas ácidas mesoporosas sintetizadas a partir de precursores renovables aplicadas en la reacción de condensación de Knoevenagel.

**Marina Belén Palacios<sup>a\*</sup>, Eliana Gabriela Vaschetto<sup>a</sup>, Ruben, Mutal<sup>b</sup>. Ángel G. Sathicq<sup>c</sup>, Gustavo Romanelli<sup>c</sup>, Paola María Carraro<sup>a</sup>, Griselda Alejandra Eimer<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> Centro de Investigación y Tecnología Química, Universidad Tecnológica Nacional, CONICET, FRC, Córdoba, Ciudad Universitaria, 5016, Argentina. Tel: +54-3514690585.

<sup>b</sup> Laboratorio de Análisis de Materiales por Espectrometría de Rayos X (LAMARX), FAMAFC UNC, Córdoba, Argentina.

<sup>c</sup> Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas "Dr. Jorge J. Ronco" CINDECA, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, 47 N ° 257, 1900 La Plata, Argentina.

\*mpalacios@frc.utn.edu.ar.

**Palabras clave:** Sólidos mesoporosos ácidos, precursores renovables, glicerol, condensación de Knoevenagel.

## Resumen

El desarrollo de nanomateriales orientados la optimización de procesos representa una estrategia efectiva frente a las actuales demandas de sustentabilidad en la industria química. En este contexto, la síntesis sostenible de materiales mesoporosos y la amplia funcionalidad de los mismos, favorece la implementación de tecnologías más respetuosas con el ambiente posicionándolos como catalizadores prometedores en múltiples reacciones de interés. Sin embargo, estos sólidos son obtenidos convencionalmente utilizando precursores costosos y poco compatibles ambientalmente. Así, el empleo de glicerol, subproducto de la transesterificación de aceites vegetales y grasas animales para obtener biodiesel, como agente porógeno y de sílice extraída de la ceniza de cáscara de arroz (RH), un residuo agroindustrial, como fuente de silicio, representa una alternativa más económica y ecológica. Además, la incorporación de metales como el aluminio en la síntesis permite introducir sitios ácidos de distinta naturaleza (Palacios et al., 2025). Por todo ello, se plantea el diseño de sólidos renovables para ser evaluados en la reacción de condensación de Knoevenagel entre vainillina y malononitrilo mediante microondas, la cual permite la síntesis de interesantes productos químicos para la obtención de polímeros, aromas, entre otros. Los catalizadores "Al-M(x)-G" se sintetizaron mediante el método Sol-Gel con incorporación directa de Al (siendo x= relación Si/Al=10, 30, 60 y 100). La caracterización detallada de los sólidos fue reportada en estudios previos (Palacios et al., 2025). Los materiales obtenidos exhibieron estructura mesoporosa, confirmada por fisisorción de N<sub>2</sub> y microscopía electrónica de transmisión (TEM) (Vaschetto et al., 2023). La presencia de Al se detectó por SEM-EDS, evidenciando un incremento del mismo a medida que aumentó su incorporación en el gel de síntesis. Asimismo, dicha incorporación en la estructura fue confirmada por espectroscopia infrarroja (FT-IR) y resonancia magnética nuclear (RMN). Además, se realizaron experimentos de RMN para caracterizar el entorno local del aluminio en las estructuras mesoporosas. Inicialmente, se analizó la muestra Al-M(10)-G calcinada y sin calcinar. Ambas muestras presentaron señales de Al en coordinación tetraédrica (intra-red) y octaédrica (extra-red). Bajo calcinación, se obtuvo un aumento en la señal del Al intra-red mientras que la coordinación extra-red disminuyó, evidenciando la importancia de la calcinación para favorecer la incorporación de Al, desde un entorno octaédrico hacia una disposición tetraédrica. Asimismo, una muestra con menor contenido de aluminio (Al-M(30)-G) presentó intensidades similares de las señales de Al tetraédrica y octaédrica, a diferencia de Al-M(10)-G donde predomina Al intra-red. Así, estos resultados podrían confirmar que una elevada incorporación de Al en el gel de síntesis permite una mayor estabilización del metal dentro de la estructura del sólido (Palacios et al., 2025). Por otro lado, se identificó



la naturaleza de los sitios ácidos por FT-IR con adsorción-desorción de piridina. En todos los sólidos se presentaron bandas correspondientes a piridina enlazada a hidrógeno de grupos silanoles presentes en la estructura y a sitios ácidos de Lewis con piridina adsorbida. Además, se obtuvo una señal asociada a sitios ácidos de Brønsted. La muestra Al-M(10)-G presentó la mayor proporción e intensidad de sitios ácidos de Lewis y Brønsted. Asimismo, estudios de desorción de piridina a diferentes temperaturas indicaron que dichos sitios ácidos de Lewis poseen una acidez de carácter moderado mientras que los sitios ácidos de Brønsted son de naturaleza débil. Los sólidos sintetizados fueron evaluados catalíticamente en la reacción de condensación de Knoevenagel entre vainillina y malononitrilo bajo irradiación de microondas y en condiciones libres de solvente. Las reacciones se llevaron a cabo a 80 °C en distintos tiempos de reacción (Tabla 1), empleando una relación molar 1:1 y 20 mg de catalizador por mmol de vainillina. En todos los casos, se observó un incremento en la conversión de vainillina a medida que avanzaba el tiempo de reacción. Para la mayoría de los sólidos sintetizados, con excepción del material con menor contenido de aluminio (Al-M(100)-G), se alcanzan conversiones superiores al 50 % en los primeros 5 minutos de reacción. La conversión más alta (90%) se obtuvo con la muestra Al-M(10)-G, tras 30 minutos de reacción. Además, para todos los escenarios analizados, la selectividad fue del 100% hacia el producto deseado: 2-(4-hidroxi-3-metoxibencilideno) malononitrilo. Estos resultados sugieren que el incremento en el contenido de Al favorece el desarrollo de sitios ácidos de Lewis y Brønsted, así como una mayor proporción de especies de Al tetraédrico, los cuales podrían asociarse a sitios catalíticamente más activos que contribuyen a un mejor desempeño del material y rendimiento de la reacción.

**Tabla 1.** Resultados de actividad catalítica de los catalizadores.

| Tiempo de reacción (min) | Conversión (%) |            |            |             |
|--------------------------|----------------|------------|------------|-------------|
|                          | Al-M(10)-G     | Al-M(30)-G | Al-M(60)-G | Al-M(100)-G |
| 5                        | 52             | 56         | 48         | 14          |
| 10                       | 65             | 68         | 59         | 44          |
| 15                       | 85             | 71         | 70         | 68          |
| 30                       | 90             | 74         | 73         | 73          |

## Referencias:

- Palacios, M. B., Carraro, P. M., Domine, M. E., Vaschetto, E. G., & Eimer, G. A. (2025). *Chemistry Select.* 01143, 1–9. <https://doi.org/10.1002/slct.202501143>.
- Vaschetto, E.G., Ochoa Rodríguez, P.A., Pérez Pariente, J., Eimer, G.A. (2023). *Microporous and Mesoporous Materials*, 360, 112719. <https://doi.org/10.1016/J.MICROMESO.2023.112719>.



## Desarrollo de aditivos antioxidantes para biodiésel a partir de materiales metálicos obtenidos por síntesis verde

**María José Moncada Cardona<sup>a\*</sup>**, Hilda Elizabeth Reynel Ávila<sup>b</sup>, Lizbeth Liliana Díaz Muñoz<sup>c</sup>, Felipe de Jesús Villalobos Delgado<sup>d</sup>

<sup>a\*</sup> *jozhitam@gmail.com, Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Aguascalientes, México.*

<sup>b</sup> *elizabethreynel@gmail.com, Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Aguascalientes, México.*

<sup>c</sup> *lizbeth\_liliana\_3@hotmail.com, Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Aguascalientes, México.*

<sup>d</sup> *iqfelipedejesusvillalobosiq@hotmail.com, Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Aguascalientes, México.*

**Palabras clave:** Biodiésel, Materiales metálicos, Estabilidad oxidativa, Síntesis verde.

### Resumen

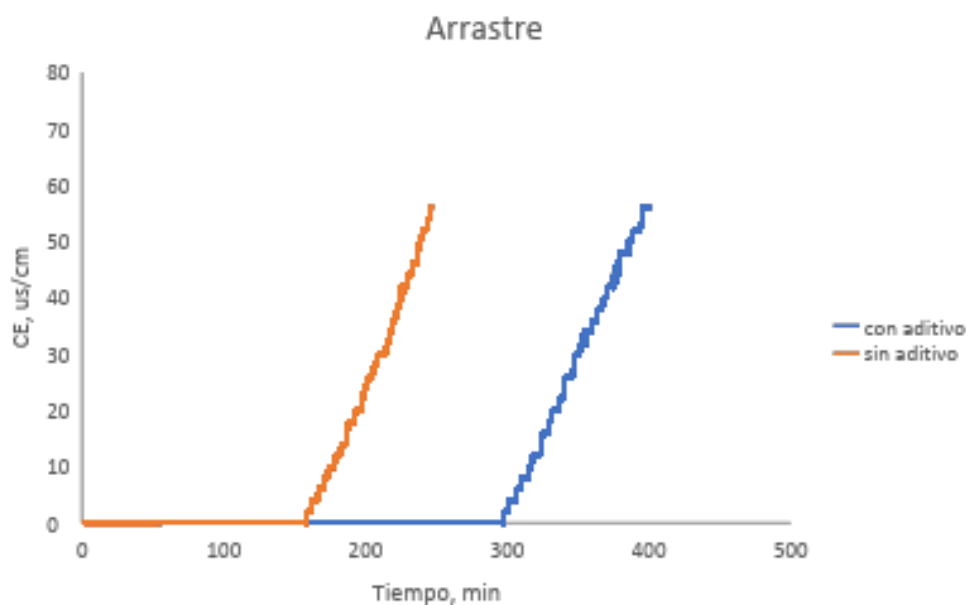
El biodiésel es un biocombustible renovable derivado de aceites vegetales o grasas animales que se considera una alternativa viable para sustituir al diésel fósil debido a su origen renovable y menor impacto ambiental. Sin embargo, a pesar de estas ventajas, presenta limitaciones técnicas importantes, particularmente relacionadas con su estabilidad oxidativa durante el almacenamiento (David & Kopac, 2023). La oxidación del biodiésel ocurre principalmente durante el almacenamiento y está asociada a la presencia de ácidos grasos insaturados. Este proceso sigue un mecanismo radicalario (David & Kopac, 2023; Choe & Min, 2006), que conduce a la formación de peróxidos y otros productos de degradación. Dichos compuestos son responsables del deterioro progresivo del combustible. Como consecuencia de la oxidación se observa la formación de sedimentos, el incremento del índice de peróxidos y la disminución del tiempo de inducción. Estos cambios provocan una pérdida de calidad del biodiésel, afectando su desempeño y su cumplimiento normativo.

Por lo anterior, se propone sintetizar materiales metálicos como aditivos funcionales (Soudagar et al., 2018). Dichos materiales metálicos pueden interactuar con especies reactivas generadas durante la oxidación del biodiésel. Diversos estudios reportan que estas partículas retardan los procesos de oxidación (Saxena et al., 2017), no se consumen estequiométricamente y pueden mejorar la estabilidad oxidativa del combustible. En la síntesis verde de estos materiales se emplearon extractos vegetales como agentes reductores y estabilizantes (Iravani, 2011). Con este enfoque se evita el uso de reactivos tóxicos, como borohidruros o hidracina y resulta compatible con los principios de sostenibilidad y con la matriz del biodiésel. Los compuestos fenólicos fueron obtenidos a partir de biomasa vegetal mediante dos métodos de extracción: extracción asistida por ultrasonido y extracción por arrastre de vapor. En la extracción por ultrasonido se emplearon diferentes solventes (agua, etanol y acetona), los cuales se pusieron en contacto con la biomasa durante un tiempo determinado, mientras que en la extracción por arrastre de vapor se utilizó únicamente agua como medio de extracción. Posteriormente, los extractos obtenidos fueron empleados para la cuantificación de compuestos fenólicos totales. Los materiales metálicos se sintetizaron mediante un método de goteo asistido por ultrasonido, utilizando una solución de nitrato de zinc como precursor metálico.



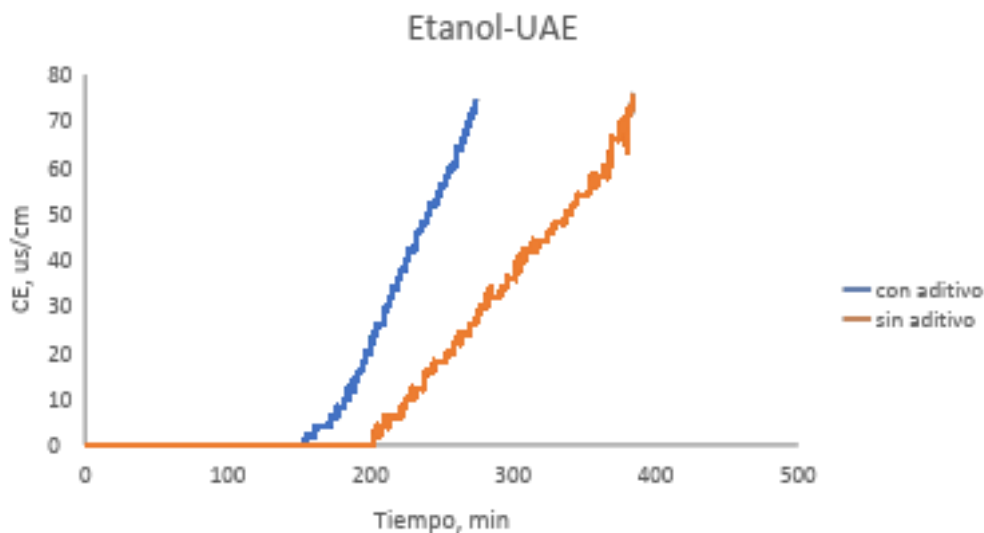
Durante el proceso, el extracto vegetal fue adicionado de manera controlada sobre la solución metálica bajo condiciones de ultrasonido, favoreciendo la reducción del metal y la formación de las nanopartículas. El producto obtenido fue separado mediante centrifugación, lavado con etanol y secado, para posteriormente ser acondicionado para su uso.

Finalmente, los materiales sintetizados fueron evaluados como aditivos en biodiésel mediante un ensayo tipo Rancimat, en el cual se determinó la estabilidad oxidativa del combustible en presencia y ausencia de los materiales, utilizando el tiempo de inducción como parámetro de comparación. Los resultados preliminares mostraron que la incorporación de los materiales metálicos al biodiésel influye en su estabilidad oxidativa, dependiendo del método de obtención del extracto vegetal utilizado en la síntesis. Se observó que los materiales obtenidos mediante extracción por arrastre de vapor presentaron los mayores tiempos de inducción, alcanzando valores cercanos a 5 h, evidenciando una mejora significativa en comparación con el biodiésel sin aditivo. En contraste, los materiales obtenidos mediante extracción asistida por ultrasonido con solventes orgánicos, como etanol y acetona, presentaron una disminución en el tiempo de inducción, indicando un comportamiento menos favorable. Por otro lado, el uso de extractos acuosos mostró un efecto intermedio, con una ligera mejora en la estabilidad oxidativa. El análisis de las curvas de conductividad permitió observar diferencias en la velocidad de oxidación, donde los sistemas con mejor desempeño presentaron un retraso en el inicio de la oxidación, lo que sugiere que la naturaleza del extracto influye directamente en las propiedades del material y su interacción con el biodiésel.



**Figura 1.** Efecto del aditivo obtenido por arrastre de vapor sobre la estabilidad oxidativa del biodiésel.





**Figura 2.** Efecto del aditivo obtenido por extracción asistido por ultrasonido sobre la estabilidad oxidativa del biodiésel.

## Referencias:

- David, E., & Kopac, J. (2023). Survey on antioxidants used as additives to improve biodiesel's stability to degradation through oxidation. *Molecules*, 28(23), 7765. <https://doi.org/10.3390/molecules28237765>
- Choe, E., & Min, D. B. (2006). Mechanisms and factors for edible oil oxidation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5(4), 169–186. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2006.00009.x>
- Saxena, V., Kumar, N., & Saxena, V. K. (2017). A comprehensive review on biodiesel additives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.154>
- Soudagar, M. E. M., Nik-Ghazali, N. N., Kalam, M. A., et al. (2018). The effect of nano-additives on biodiesel fuel properties. *Energy Conversion and Management*, 177, 315–326. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.09.042>
- Iravani, S. (2011). Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green Chemistry*, 13(10), 2638–2650. <https://doi.org/10.1039/c1gc15386b>





## Efecto del zirconio en la estructura y propiedades de catalizadores Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Naranjo Juan A.<sup>a\*</sup>, Cañete Benjamín<sup>b</sup>, Pedernera Marisa<sup>c</sup>, Tonetto Gabriela<sup>d</sup>

<sup>a</sup>*jnaranjosilva@plapiqui.edu.ar, PLAPIQUI (Universidad Nacional del Sur – CONICET), Bahía Blanca*

<sup>b</sup>*bcanete@plapiqui.edu.ar, PLAPIQUI (Universidad Nacional del Sur – CONICET), Bahía Blanca*

<sup>c</sup>*mpedernera@plapiqui.edu.ar, PLAPIQUI (Universidad Nacional del Sur – CONICET), Bahía Blanca*

<sup>d</sup>*gtonetto@plapiqui.edu.ar, PLAPIQUI (Universidad Nacional del Sur – CONICET), Bahía Blanca*

**Palabras clave:** Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, zirconio, dispersión metálica, coprecipitación

### Resumen

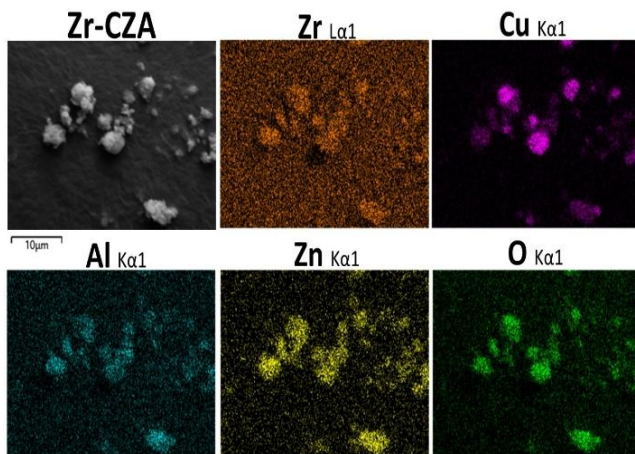
En el contexto actual de transición energética y descarbonización, el desarrollo de catalizadores con alta actividad y estabilidad estructural, es un desafío relevante. Entre sus diversas aplicaciones, las reacciones de hidrogenación de óxidos de carbono (CO<sub>x</sub>) hacia productos químicos de valor agregado representan una alternativa prometedora para mitigar el impacto ambiental y avanzar hacia un sistema energético más sustentable. En este contexto, los catalizadores basados en Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (CZA) han sido ampliamente estudiados como sistemas modelo debido a las interacciones sinérgicas entre sus componentes. Asimismo, la incorporación de elementos como zirconio, magnesio o cerio, ha emergido como una estrategia efectiva para promover la interacción entre fases en sistemas multicomponentes basados en cobre, mejorando la dispersión de la fase activa e induciendo modificaciones tanto en la estructura del óxido mixto como en las propiedades ácido-base superficiales (Busca et al., 2024). En este marco, se sintetizó un catalizador Zr-Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Zr-CZA) mediante el método de coprecipitación de sales metálicas de Cu, Zn, Al y Zr, con una composición de 67, 24, 5 y 4 % en peso de los metales, respectivamente, bajo condiciones controladas de pH, temperatura y tiempo de envejecimiento. Posteriormente, el material se secó a temperatura ambiente durante 24 h y se calcinó por etapas con una rampa de 2°C/min: 110°C por 1 h, 200°C por 1 h y 400°C por 3 h. El catalizador fue caracterizado mediante difracción de rayos X (DRX), reducción a temperatura programada (TPR), microscopía electrónica de barrido acoplada a espectroscopía de energía dispersiva (SEM-EDS), microscopía electrónica de transmisión (TEM), espectroscopía FT-IR y análisis termogravimétrico (TGA).

A partir de los resultados obtenidos mediante las distintas técnicas se pudo analizar en conjunto las propiedades fisicoquímicas del catalizador Zr-CZA. Los difractogramas de DRX evidencian la presencia de fases cristalinas atribuibles a CuO y ZnO. En contraste, la Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> exhibe un carácter predominantemente amorfo, inferido a partir de la ausencia de reflexiones bien definidas y la presencia de un halo difuso. No se detectan señales asignables a ZrO<sub>2</sub>, lo que sugiere su alta dispersión en dominios nanométricos. En estas condiciones, las contribuciones de sus fases tetragonal y monoclinica se ven enmascaradas por el solapamiento de sus reflexiones características (2θ ≈ 30° y 50°) con las de CuO y ZnO (Gao et al., 2013). El tamaño de cristalita de CuO determinado por DRX para Zr-CZA se encontró en el rango de 75-96 Å, significativamente menor que el observado previamente para el catalizador CZA, cuyos valores se ubicaron en el intervalo de 240-380 Å (Naranjo et al., 2025).

La interacción sinérgica entre los componentes del sistema favorece la dispersión de cobre, como se muestra en el mapeo de elementos presentados en la Fig. 1.

Asimismo, el análisis TPR del catalizador Zr-CZA mostró un desplazamiento de las temperaturas de reducción de CuO hacia valores más bajos (160–310°C) en comparación con CZA (200–500°C), lo que sugiere la presencia de especies de CuO más fácilmente reducibles y una mayor dispersión metálica





**Figura SEQ Figura \\* ARABIC 1** Micrografías SEM (10μm) y

asociada a la incorporación de Zr (Naranjo et al., 2025). El análisis por TEM del catalizador Zr-CZA reveló una distribución de tamaños de partícula en el rango de 5–15 nm, sin evidencia de formación de partículas de cobre de gran tamaño. La incorporación de Zr actúa como promotor estructural, inhibiendo los procesos de sinterización y crecimiento cristalino durante la calcinación, lo que se traduce en una mayor dispersión metálica y accesibilidad de los sitios activos. El espectro FTIR exhibe bandas características asociadas a especies carbonatadas adsorbidas y grupos OH superficiales, en concordancia con los eventos observados mediante TGA. Este comportamiento sugiere una elevada afinidad del material por especies adsorbidas del entorno, indicativa de una superficie con marcada

basicidad. Dicha basicidad se atribuye principalmente a la interacción sinérgica entre ZnO y t-ZrO<sub>2</sub>. En este contexto, la basicidad superficial resulta particularmente favorable para la adsorción y posterior activación de CO<sub>2</sub>, etapa clave en procesos de hidrogenación orientados a la síntesis de metanol (Ding et al., 2025).

## Referencias

- Busca, G., Spennati, E., Riani, P., & Garbarino, G. (2024). Mechanistic and Compositional Aspects of Industrial Catalysts for Selective CO<sub>2</sub> Hydrogenation Processes. *Catalysts* 2024, Vol. 14, Page 95, 14(2), 95. <https://doi.org/10.3390/catal14020095>
- Ding, J., Jiang, R., Hu, S., Du, B., Li, Y., Wang, Y., Qiao, W., Wang, Z., Wang, Y., Yu, G., Guo, X., & Wang, Y. (2025). Enhanced Selectivity to Methanol in CO<sub>2</sub> Hydrogenation on CuO/ZrO<sub>2</sub> Catalysts by Alkali Metal Modification. *ChemCatChem*, 17(2), e202401400. <https://doi.org/10.1002/CCTC.202401400>;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER
- Gao, P., Li, F., Zhan, H., Zhao, N., Xiao, F., Wei, W., Zhong, L., Wang, H., & Sun, Y. (2013). Influence of Zr on the performance of Cu/Zn/Al/Zr catalysts via hydrotalcite-like precursors for CO<sub>2</sub> hydrogenation to methanol. *Journal of Catalysis*, 298, 51–60. <https://doi.org/10.1016/J.JCAT.2012.10.030>
- Naranjo, J., Cañete, B., Tonetto, G., & Pedernera, M. (2025). *Diseño y evaluación de un catalizador Cu-ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para la valorización de CO<sub>2</sub> a metanol*. [https://drive.google.com/file/d/1es1AhNddBs7kWVxkIWYk\\_ZSkQekZaIVj/view](https://drive.google.com/file/d/1es1AhNddBs7kWVxkIWYk_ZSkQekZaIVj/view)



# Síntesis de silicatos de litio empleando diferentes ácidos orgánicos para su uso en la captura de CO<sub>2</sub> a altas temperaturas

Carlos F. Imbachi-Gamba<sup>a</sup>, Lucas Bojorque<sup>a</sup>, Laura Cornaglia<sup>a</sup>, Betina Faroldi<sup>a\*</sup>.

<sup>a</sup> Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE, CONICET-UNL). Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral (UNL), Santiago del Estero 2829, Santa Fe, Argentina, S3000.

\*e-mail: bfaroldi@fiq.unl.edu.ar

**Palabras clave:** Captura de CO<sub>2</sub>, ácidos orgánicos, cáscara de arroz, silicatos de litio.

## Resumen

Las tecnologías de captura y conversión de CO<sub>2</sub> surgen como tecnologías que pueden solventar problemas ligados a la crisis climática que enfrenta actualmente la humanidad. Particularmente, la captura de CO<sub>2</sub> usando materiales sólidos presenta un gran potencial para su uso en diferentes procesos tradicionales donde se emiten grandes cantidades de este gas. Los sorbentes basados en silicatos de litio (Li<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub> ⇌ Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + Li<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) son los candidatos de mayor avance, dado que presentan buena capacidad de captura (0.37 gCO<sub>2</sub>/g, para el Li<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> puro) y estabilidad térmica a altas temperaturas. Sin embargo, este material presenta diferentes limitaciones para su uso, entre las cuales se encuentran los costos de fabricación, y su baja velocidad de captura, especialmente en corrientes diluidas de CO<sub>2</sub>. Se han realizado diferentes estudios en búsqueda de mejoras en el proceso de síntesis del material, que le permitan superar estas limitantes, como el uso de precursores de Li y Si provenientes de residuos, y el dopaje con metales alcalinos para mejorar su velocidad de captura (Sun et al, 2025).

En este trabajo se propone el uso de SiO<sub>2</sub> proveniente de la cáscara de arroz y Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> como precursores de Li y Si, respectivamente, en la síntesis de Li<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>. Se empleó el método de impregnación-suspensión, que consiste en la dispersión de los precursores en medio acuoso, con calentamiento y agitación constantes. La baja solubilidad del carbonato de Li impide una dispersión eficiente en el medio acuoso. Entonces, se planteó el uso de soluciones de ácidos orgánicos (ácidos acético, cítrico u oxálico) para disolver el Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, generando especies de carboxilatos de Li. Las muestras se sintetizaron usando la relación molar Li/Si = 4, y relación molar Li:Ácido igual a 2 para el ácido acético y oxálico, y 3 para el cítrico. Una vez evaporada el agua, los sólidos se secaron a 80 °C/14 h, y calcinaron a 650 °C/1 h en aire.

Los sorbentes fueron probados en la captura de CO<sub>2</sub> al 50% (Figura 1A), donde se puede observar que la capacidad de captura de los materiales varía según el ácido con valores entre 0.09 y 0.12 gCO<sub>2</sub>/g, donde la más alta fue alcanzada por el material sintetizado con ácido acético.

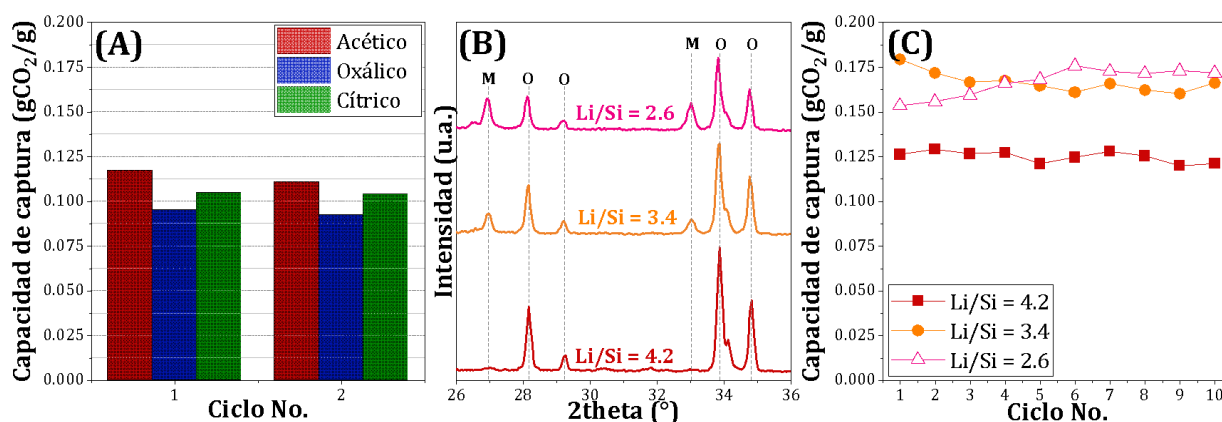
Mediante un análisis semicuantitativo de los difractogramas de DRX de los materiales (no mostrado), se observa que el material sintetizado con ácido acético alcanzó una fracción del 9% de Li<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> y 91% de Li<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>, mientras que los otros dos materiales presentaron fracciones de Li<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> >99%. Acorde a diferentes estudios, si bien el Li<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> aparece como otro producto de la reacción, éste puede mejorar el desempeño en captura de los sorbentes mejorando la difusión de los iones de Li<sup>+</sup> (Guo et al 2025; Tan et al, 2026).

Con el fin de aumentar la cantidad de Li<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> presente en los sólidos se realizó la síntesis de los materiales con diferente relación Li/Si (entre 2.6-4.2) en presencia de ácido acético. En la Figura 1B se exhiben los difractogramas de rayos X de las tres muestras sintetizadas, donde se observan los picos asociados al Li<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> (O: Ortosilicato), y Li<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (M: Metasilicato). A medida que disminuye la relación Li/Si, se aprecia un aumento en la intensidad de los picos del metasilicato. De esta manera, se alcanzaron fracciones de Li<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> del 11, 29 y 43% para las relaciones Li/Si de 4.2, 3.4 y 2.6, respectivamente.

Finalmente, estos materiales se probaron en la captura de CO<sub>2</sub> bajo las mismas condiciones de la Figura 1A, por diez ciclos consecutivos de captura-desorción, donde se observa que las muestras con menor relación Li/Si presentaron el mejor desempeño, alcanzando capacidades alrededor de 0.17 gCO<sub>2</sub>/g en el último ciclo de captura, como se muestra en la Figura 1C. Estos resultados sugieren que la presencia de



$\text{Li}_2\text{SiO}_3$  puede promover la captura de  $\text{CO}_2$  de los sorbentes, alcanzando capacidades 40% superiores a la de los sorbentes de  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  puro.



**Figura 1.** A) Capacidad de captura de los materiales preparados con diferentes ácidos en dos ciclos consecutivos, B) Difractogramas de rayos X de las muestras sintetizadas con ácido acético y diferentes relaciones Li/Si, y C) Pruebas de captura por diez ciclos de captura-desorción de las muestras con diferente relación Li/Si sintetizados con ácido acético. *Captura:* 550 °C/50% CO<sub>2</sub>/ 1 h. *Desorción:* 700 °C/N<sub>2</sub>/15 min.

Para concluir, a través de estos resultados se sugiere que tanto el ácido como la relación Li/Si son parámetros que influyen en la composición de las fases de  $\text{Li}_2\text{SiO}_3$ - $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  en los sorbentes, y con ello, en el desempeño de estos en la captura de  $\text{CO}_2$  en las condiciones analizadas. Sumado a esto, se evidencia que el control de la relación de las fases de los silicatos en el material se presenta como un parámetro importante tanto en la capacidad como estabilidad de estos sorbentes en la captura de  $\text{CO}_2$  a altas temperaturas.

## Referencias

- Guo, A., Yang, W., Fu, R., Li, X., Li, Z., Wang, Q., Huang, L., & Yu, F. (2025). *Fuel*, 395, 135174.
- Sun, Z., He, X., & Duan, L. (2026). *Advanced Functional Materials*, 36, e24549.
- Tan, Y., Zhang, Z., Liu, W., & Xu, M. (2026). *Journal of Colloid and Interface Science*, 703, 139083.





# Proceso integrado para la valorización de residuos del cultivo de tilapia plateada (*Oreochromis niloticus*) en la síntesis de un biomaterial para ingeniería de tejidos

Kelly Marcela Triana Jiménez<sup>a\*</sup>, Mario Enrique Velásquez Lozano<sup>b</sup>.

<sup>a</sup> [kmtrianaj@unal.edu.co](mailto:kmtrianaj@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.

<sup>b</sup> [mevelasquezl@unal.edu.co](mailto:mevelasquezl@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.

## Palabras clave

Hidroxiapatita, gelatina de pescado, ingeniería de tejido óseo, biomateriales.

## Resumen

La acuicultura es el subsector agropecuario con mayor crecimiento anual en el mundo, siendo un gran aliado para garantizar la seguridad alimentaria, donde se destaca la producción de tilapia plateada (*Oreochromis niloticus*) en la mayoría de las regiones de Colombia y más de 75 países del mundo, donde los departamentos de Huila y Meta son los principales productores (Carrera-Quintana et al., 2022). Dentro del proceso, se generan residuos de hasta 70 % por unidad de peso del animal distribuido en escamas, huesos, pieles y vísceras, convirtiéndose en un gran desafío a nivel ambiental (Otwey et al., 2024). De estos residuos suele aprovecharse una parte en dietas alimentación animal o compostaje; sin embargo, esto depende de la capacidad instalada de las plantas de beneficio y la tecnología disponible. Por ejemplo, en el caso de las escamas de pescado, es común que sean dispuestas en el medio ambiente sin mayor control. Considerando que los subproductos de la piscicultura son abundantes en aminoácidos, minerales y otros componentes de interés, es importante considerar opciones de mayor valor agregado, dentro de las que se encuentran aplicaciones médicas, farmacéuticas y cosméticas; sin embargo, el potencial en ingeniería de tejidos óseos mediante el aprovechamiento de escamas aún requiere mayor exploración (Pu'ad et al., 2019; Triana-Jiménez, K., et al., 2026).

Por otra parte, se ha reportado un aumento drástico en las enfermedades relacionadas con el tejido óseo y se espera que siga creciendo en los próximos años, debido a factores relacionados con el aumento de la esperanza de vida, trauma y cambios en los hábitos de la población. En consecuencia, se han generado diferentes opciones de implantes y materiales para el manejo de enfermedades óseas, procurando ir hacia el desarrollo de biomiméticos que faciliten la recuperación y donde se disminuya la discapacidad relacionada con el movimiento derivadas de este tipo de intervenciones. Sin embargo, el alto costo y a partir de productos sintetizados químicamente para el suministro de soluciones efectivas sigue limitando el acceso a tratamientos que reduzcan la morbilidad, requiriendo entonces desarrollar materiales accesibles para la población, como por ejemplo los residuos que contengan las materias primas de interés.

En esta investigación se diseñó un proceso integrado para la obtención de gelatina (colágeno parcialmente hidrolizado), hidroxiapatita y un biomaterial con uso potencial en ingeniería de tejidos óseos a partir de escamas provenientes del beneficio de tilapia plateada (*Oreochromis niloticus* - obtenidas con el apoyo de Asesoría y Acuicultura ASYA (Villavicencio – Meta). Dentro del proceso, se prepararon diferentes mezclas y se incorporó alginato de sodio, a las estructuras tridimensionales (*scaffolds*) liofilizadas con el fin de controlar algunas propiedades y asegurar su reproducibilidad.





Las caracterizaciones realizadas a las materias primas y el biomaterial compuesto incluyeron la evaluación de propiedades físicoquímicas, térmicas, ópticas y evaluación de la viabilidad celular (Triana-Jiménez, K.T., 2025; Triana-Jiménez, K., et al., 2026). De la gelatina se destaca el perfil proteico con 661 péptidos que corresponden a 91 proteínas y peso molecular de  $212.3 \pm 11.8$  kDa. Por su parte, la caracterización de hidroxiapatita confirmó su pureza en 100 % de acuerdo con el patrón de difracción de rayos X y, para los prototipos de *scaffold*, las propiedades físicoquímicas fueron comparables a las de otras fuentes de la literatura que utilizaron materias primas comerciales, incluyendo una resistencia a la compresión por encima de 29 psi, alta rugosidad ( $>100 \mu\text{m}$ ) y porosidades de entre 60 y 89 %. Adicionalmente, los ensayos de citotoxicidad resultaron en biomateriales viables según lo establecido en la norma ISO 10993-5 (2009).

Durante del diseño de proceso se exploraron otras presentaciones del biomaterial compuesto (microesferas, tinta extruible, películas), encontrando una gran versatilidad de la formulación y que como muestra de que el uso de estos residuos implica un gran potencial para aplicaciones de alto valor agregado que brinden solución a problemas de salud pública global. Para ampliar las opciones de desarrollo en etapas posteriores se propone la realización de pruebas específicas sobre la diferenciación celular a tejido óseo, establecer parámetros de correlación entre algunas propiedades físicoquímicas y la viabilidad celular, además de explorar aplicaciones relacionadas como el suministro de medicamentos usando como matriz el biomaterial compuesto.

## Referencias:

Carrera-Quintana, S. C., Gentile, P., & Girón-Hernández, J. (2022). An overview on the aquaculture development in Colombia: Current status, opportunities and challenges. *Aquaculture* 561. 738583. [10.1016/j.aquaculture.2022.738583](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738583).

Otwey, R. Y., Atter, A., Galley, C., Nketia, S., Lee, Y., Koivula, H. M., & Agyakwah, S. K. (2024). Assessment of waste generated from fresh Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Accra, Ghana. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, 4(3):e188.

Pu'ad, N. M., Koshy, P., Abdullah, H. Z., Idris, M. I., and Lee, T. (2019). Syntheses of hydroxyapatite from natural sources. *Heliyon*, 5(5):e01588

Triana-Jiménez, K.T. (2025). *Evaluación de las propiedades mecánicas de un biomaterial compuesto por gelatina e hidroxiapatita obtenidos a partir de residuos de la piscicultura* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/89495>.

Triana-Jiménez, K., Alonso, C., Vega, M. A., Juanes-Velasco, P., Meneses-Rivera, I., & Velásquez-Lozano, M. (2026). Physicochemical and Functional Properties of Type B Gelatin Obtained from Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Scales Using Hydro-Extraction: Effect of Ultrasound Pretreatment. *Pharmaceutics*, 18(4), 463. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics18040463>.



# Development and Evaluation of Nanomaterials synthesized from Agro-waste for enhancement of CO<sub>2</sub>-reservoir fluids interactions: Implications for Carbon Geostorage and EOR Processes

Lady J. Giraldo<sup>1,2</sup>, Francisco Carrasco-Marin<sup>2</sup>, Camilo A. Franco<sup>1</sup>, Farid B. Cortés<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia-sede Medellín, Colombia

<sup>2</sup> Universidad de Granada, España

**Palabras clave: Nanomaterials, CCUS, Agrowaste, Carbon Storage**

## Resumen

CO<sub>2</sub>-EOR alternatives for carbon capture, utilization, and storage (CCUS) are considered key processes for achieving net-zero emissions by 2050 with the aim of limiting global warming. Currently, significant efforts are being made to develop safe alternatives for carbon capture and storage coupled with traditional enhanced oil recovery processes in the Oil and Gas industry. Thus, under these scenarios, there is an imminent opportunity to improve CCS/CCUS processes, where nanotechnology as an emerging technology can provide particular conditions that allow optimization of process performance. Nanotechnology developments in recent decades have shown exceptional advantages in the Oil&Gas industry. In particular, carbon quantum dots have recently gained great importance owing to their functionality as interwell tracers; however, the carbonaceous composition of CQDs could also allow certain interactions with molecules such as CO<sub>2</sub>, which have not been thoroughly studied. Therefore, this study aims to develop and evaluate carbon quantum dots for interaction with CO<sub>2</sub> and reservoir fluids to reduce the interfacial tension (IFT) and increase CO<sub>2</sub> solubility in reservoir fluids.

This study included nanomaterials synthesized from agro-waste sources such as coffee mucilage to promote the technical-economic feasibility framed in a circular economy to reduce costs and maximize the use of available resources. The objective of this study was to evaluate the effect of the addition of CQDs to brine and CO<sub>2</sub> streams assessed by fluid-fluid interactions measured by interfacial tension (IFT), adsorption, and solubility tests to determine the contribution and phenomenology involved in the interaction of CQDs with reservoir fluids. The synthesized CQDs were characterized by hydrodynamic size, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), thermogravimetric analysis (TGA), and absorbance tests.

A high-pressure device manufactured by Biolin Scientific was used to measure the IFT using the pendant-drop method. IFT measurements were performed from 1 to 12 Mpa at 25 and 40°C. The effect of the presence of CQDs on– CO<sub>2</sub>-Brine solubility and the dosages was evaluated in a batch setup at pressures between 1 and 6 MPa. The results showed that carbonaceous nanomaterials increased CO<sub>2</sub> solubility owing to the presence of nitrogen groups, which promoted acid-base interactions between CQDs and CO<sub>2</sub> molecules, contributing to a higher retention of CO<sub>2</sub> trapped in the aqueous phase. Thus, CO<sub>2</sub> solubility increased to 28% at dosages of 0.01wt%. In addition, an IFT reduction of approximately 25% between the CO<sub>2</sub> streams and aqueous phase was obtained, which could lead to higher oil recovery and carbon geostorage. The major contribution of this study is the development of “Taylor-made” nanomaterials to enhance the interaction conditions



between CO<sub>2</sub> and reservoir fluids to promote both higher recovery of oil and underground carbon storage.

## Referencias

1. Global CCS, I. Global status of CCS 2021. CCS accelerating to net zero. <https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-report/>.
2. Ajayi, T.; Gomes, J. S.; Bera, A., A review of CO<sub>2</sub> storage in geological formations emphasizing modeling, monitoring and capacity estimation approaches. *J Petroleum Science* **2019**, 16 (5), 1028-1063.
3. OIES Oxford Institute for Energy Studies. Transitioning to Net-Zero: CCUS and the Role of Oil and Gas Producing Countries.
4. Farajzadeh, R.; Eftekhari, A. A.; Dafnomilis, G.; Lake, L.; Bruining, J., On the sustainability of CO<sub>2</sub> storage through CO<sub>2</sub>-Enhanced oil recovery. *Applied Energy* **2020**, 261, 114467.
5. Bhowan, A. S.; Bromhal, G.; Barki, G., CO<sub>2</sub> Capture and Sequestration. *Fossil energy* **2020**, 503-517.
6. Kramer, D., Negative carbon dioxide emissions. *Phys. Today* **2020**, 73 (1), 44-51.
7. Núñez-López, V.; Gil-Egui, R.; Hosseini, S. A., Environmental and operational performance of CO<sub>2</sub>-EOR as a CCUS technology: a Cranfield example with dynamic LCA considerations. *Energies* **2019**, 12 (3), 448.
8. Stewart, R. J.; Johnson, G.; Heinemann, N.; Wilkinson, M.; Haszeldine, R. S., Low carbon oil production: Enhanced oil recovery with CO<sub>2</sub> from North Sea residual oil zones. *International Journal of Greenhouse Gas Control* **2018**, 75, 235-242.
9. Ravagnani, A. G.; Ligerio, E.; Suslick, S., CO<sub>2</sub> sequestration through enhanced oil recovery in a mature oil field. *Journal of Petroleum Science and Engineering* **2009**, 65 (3-4), 129-138.
10. Lim, S. Y.; Shen, W.; Gao, Z. J. C. S. R., Carbon quantum dots and their applications. **2015**, 44 (1), 362-381.
11. Haghtalab, A.; Mohammadi, M.; Fakhroueian, Z. J. F. p. e., Absorption and solubility measurement of CO<sub>2</sub> in water-based ZnO and SiO<sub>2</sub> nanofluids. **2015**, 392, 33-42.



# Nanotubos de sílice funcionalizados con grupos $-\text{SO}_3\text{H}$ : efecto del método de síntesis.

**Lourdes Vergara<sup>a\*</sup>, Bárbara Sánchez<sup>b</sup>, Gustavo Mendow<sup>c</sup>.**

<sup>a</sup> *lvergara@fiq.unl.edu.ar, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica "Ing. José Miguel Parera"- UNL-CONICET, Santa Fe, Argentina.*

<sup>b</sup> *bsanchez@fiq.unl.edu.ar, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica "Ing. José Miguel Parera"- UNL-CONICET, Santa Fe, Argentina.*

<sup>c</sup> *gmendow@fiq.unl.edu.ar, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica "Ing. José Miguel Parera"- UNL-CONICET, Santa Fe, Argentina.*

**Palabras clave:** Nanotubos de sílice, grupos sulfónicos, ácido esteárico.

## Resumen

Se sintetizaron nanotubos de sílices funcionalizados con grupos sulfónicos mediante metodologías de grafting y co-condensación, con el objetivo de comparar ambos enfoques y establecer correlaciones con las propiedades texturales, estructurales y ácidas. Los materiales mesoporosos de gran tamaño resultan interesantes en reacciones de valorización de biomasa, que involucran materias primas voluminosas y requieren sitios ácidos para su transformación.

Para la síntesis de nanotubos de sílice (NTS), se utilizó Pluronic F-127 como surfactante y tetraetilortosilicato (TEOS) como fuente de silicio siguiendo el procedimiento publicado por Huang et al [1]. Se incorporó 3-mercaptopropil-trimetoxisilano (MPTMS) como precursor de grupos sulfónicos, mediante los métodos de co-condensación (C) y grafting (G), empleando una relación molar de 10 y 15 %S/Si. Las mediciones de cantidad de sitios ácidos, se realizaron mediante titulación potenciométrica con butilamina utilizando acetonitrilo como disolvente. Las propiedades texturales se determinaron mediante isothermas de adsorción-desorción de  $\text{N}_2$ . La eficiencia del tratamiento de oxidación de los grupos mercapto a sulfónicos se evaluó con análisis termogravimétrico (TGA) y, las relaciones molares S/Si reales se midieron mediante fluorescencia de rayos X (FRX). La actividad catalítica de los sólidos preparados, se evaluó en la reacción de esterificación de glicerina con ácido esteárico para la producción de mono, di y triestearina.

Los materiales sintetizados por co-condensación presentaron mayor cantidad de sitios ácidos (0,34 mmol  $\text{g}^{-1}$  para N10(C) y 0,54 mmol  $\text{g}^{-1}$  para N15(C)) que los preparados por grafting (0,22 mmol  $\text{g}^{-1}$  para N10(G) y 0,30 mmol  $\text{g}^{-1}$  para N15(G)), evidenciando una mayor incorporación de grupos sulfónicos con el método de co-condensación. Sin embargo, los catalizadores sintetizados por ambos métodos mostraron una fuerza ácida de sitios comparables, determinados a partir del potencial inicial de la curva de titulación, debido a que todos se encontraban en el rango de 520–560 mV., sugiriendo una fuerza alta de sitios ácidos en estos materiales.

Todas las muestras presentaron isothermas tipo IV, típicas de materiales mesoporosos, con diferencias en el bucle de histéresis. Los NTS sin funcionalizar mostraron un bucle H2 y un segundo bucle a altas presiones ( $p/p_0=0,8-0,99$ ), asociado a mesoporosidad secundaria interpartícula o a la condensación de  $\text{N}_2$  en los espacios entre nanotubos poco compactados. La distribución de poros se centró entre 8–12 nm. Las muestras funcionalizadas por grafting N10(G) y N15(G), presentaron efectos de pore-blocking, debido a que la desorción no fue completa. En las DTP se observaron diámetros entre 8 y 11 nm. Las muestras N10(C) y N15(C) presentaron isothermas totalmente diferentes con un único bucle de histéresis tipo H2. Se evidenció una distribución multimodal, con poros en el rango de 2 a 6 nm y un máximo centrado en 5 nm.



Las funcionalizaciones disminuyeron el área superficial respecto al NTS sin grupos funcionales ( $480 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ). Con grafting se obtuvo  $430 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  para N15(G), mientras que para co-condensación se obtuvieron valores cercanos a  $350 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  para N15(C).

Mediante FRX se cuantificaron los contenidos de azufre (S) y silicio (Si) en los catalizadores preparados y se calculó la relación molar real S/Si. Los resultados indicaron que las relaciones molares S/Si de las muestras funcionalizadas por co-condensación fueron semejantes a los valores nominales. Sin embargo, para catalizadores sintetizados por grafting, fueron mucho menores al contenido nominal (3,76 %S/Si para N10(G) y, 4,81 % para N15(G)). Esto sugiere un límite en la incorporación de grupos ácidos mediante grafting, en concordancia con reportes previos [2, 3].

El análisis de termogravimetría, evidenció que los materiales obtenidos por grafting presentaron baja incorporación de azufre y, con valores de %S/Si que no aumentaron significativamente al incrementar el contenido nominal, aunque con un mayor contenido de grupos oxidados en N15(G) (4,35 %p/p- $\text{SO}_3\text{H}$  para N10(G) a 6,26 %p/p para N15(G)). En cambio, los catalizadores sintetizados por co-condensación mostraron mayores contenidos de grupos sulfónicos (8,65 %p/p- $\text{SO}_3\text{H}$  para N10(C) y de 11,54 %p/p para N15(C)) y relaciones S/Si (10,62–14,06 %), evidenciando una incorporación más eficiente de grupos sulfónicos. No obstante, en ambos métodos la oxidación de los grupos tioles no fue completa.

Se evaluó la actividad catalítica en la esterificación de glicerina con ácido esteárico. Con todos los sólidos se lograron conversiones superiores a la reacción autocatalítica. Con el catalizador N10(C) se obtuvo 44 % de conversión en 60 min, llegando a una conversión de equilibrio del 90 % en 120 min. Al incrementar el contenido nominal a 15 %S/Si, se evidenció un aumento significativo de la actividad: N15(C) alcanzó 90 % de conversión a los 60 min, mientras que N15(G) presentó 46 % en el mismo tiempo. Este comportamiento se asocia a una mayor densidad y accesibilidad de sitios ácidos en los materiales obtenidos por co-condensación. En términos de selectividad, con los catalizadores preparados por grafting, se obtuvo mayor concentración de monoestearina (MG: 27,57–24,40 %) y diestearina (DG: 31,20–34,84 %), con baja formación de triestearina (TG: 3,44–4,70 %). En cambio, los materiales obtenidos por co-condensación mostraron una mayor tendencia a productos más sustituidos, con DG entre 37,90–35,44 % y un incremento en TG (5,92–11,38 %). Este comportamiento es consistente con una mayor velocidad de reacción en los catalizadores con mayor incorporación de grupos ácidos.

## Referencias

- [1] Huang L., Kruk M. (2015). *Chem. Mater.* 27, 679–689. <https://doi.org/10.1021/cm5028749>
- [2] Vergara L., Decolatti H.P., Mendow G., Sánchez B.S. (2026), *Microporous Mesoporous Mater.* 401, 113957. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2025.113957>
- [3] Vergara L., Maquirriain M.A., Pisarello M.L., Querini C.A., Mendow G., Sánchez B.S., (2025) *Microporous Mesoporous Mater.* 381, 113318. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2024.113318>





## Valorización de $\gamma$ -valerolactona hacia ésteres valéricos mediante catalizadores bifuncionales basados en MCM-48.

Rocio Nicollier<sup>a\*</sup>, Gustavo Mendow<sup>b</sup>, Bárbara Sanchez<sup>c</sup>, Hernán Decolatti<sup>d</sup>.

<sup>a</sup> [ranicollier@fiq.unl.edu.ar](mailto:ranicollier@fiq.unl.edu.ar), INCAPE, FIQ-UNL- CONICET, Santa Fe.

<sup>b</sup> [gmendow@fiq.unl.edu.ar](mailto:gmendow@fiq.unl.edu.ar), INCAPE, FIQ-UNL- CONICET, Santa Fe.

<sup>c</sup> [bsanchez@fiq.unl.edu.ar](mailto:bsanchez@fiq.unl.edu.ar), INCAPE, FIQ-UNL- CONICET, Santa Fe.

<sup>d</sup> [herdeco@fiq.unl.edu.ar](mailto:herdeco@fiq.unl.edu.ar), INCAPE, FIQ-UNL- CONICET, Santa Fe.

**Palabras clave:** Valerato de pentilo. Sílices mesoporosas. Gama-valerolactona.

### Resumen

Los ésteres valéricos (EV) son aditivos oxigenados con potencial aplicación en combustibles sostenibles derivados de biomasa lignocelulósica. El valerato de pentilo (VP) puede obtenerse por conversión catalítica de  $\gamma$ -valerolactona (GVL) en presencia de alcoholes como pentanol (PL), requiriendo catalizadores bifuncionales capaces de promover simultáneamente etapas ácido-catalizadas e hidrogenación [1]. La transformación de GVL puede seguir dos mecanismos: uno vía ácido valérico propuesto por Lange et al. [2] y otro directo en exceso de alcohol reportado por Chan-Thaw et al. [3].

En este trabajo se evaluaron catalizadores metal-ácido basados en sílices mesoporosas MCM-41 y MCM-48 para la síntesis de VP siguiendo la ruta propuesta por Chan-Thaw. Los soportes fueron modificados con aluminio por co-condensación utilizando  $\text{NaAlO}_2$  o  $\text{AlCl}_3$  ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 25$ ) y posteriormente impregnados con Ru, Pd y Ni. El sólido Al-MCM-48 ( $\text{NaAlO}_2$ ) fue protonado mediante intercambio iónico con  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

Los materiales se caracterizaron por sortometría de  $\text{N}_2$ , ICP-OES, FTIR de piridina adsorbida, titulación potenciométrica, TPD-piridina y TPR- $\text{H}_2$ . Las reacciones se realizaron en reactor batch a 250 °C durante 5 h utilizando una mezcla PL/GVL = 24 y 250 mg de catalizador. Los sistemas metálicos operaron bajo 20 bar de  $\text{H}_2$ , mientras que los catalizadores exclusivamente ácidos se evaluaron en atmósfera de  $\text{N}_2$ . Los productos fueron analizados por cromatografía gaseosa.

Las isotermas de  $\text{N}_2$  presentaron perfiles tipo IV con histéresis  $\text{H}_2$  y áreas específicas elevadas (650–860  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ ), confirmando la preservación de la estructura mesoporosa tras la incorporación de aluminio y metales. El análisis ICP mostró relaciones  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  cercanas al valor teórico, y FTIR de piridina evidenció la coexistencia de sitios ácidos de Lewis y Brønsted en H-Al-MCM-48, sin cambios significativos luego de la incorporación de Ru.

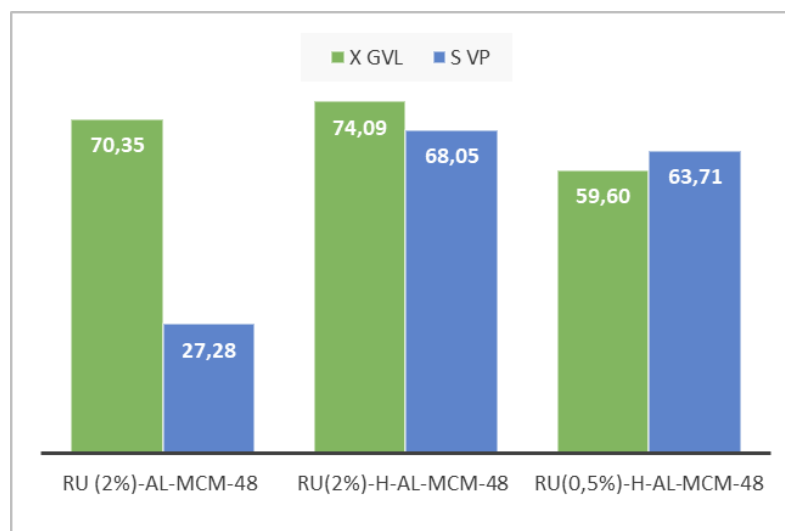
La Tabla 1 resume las conversiones de GVL y propiedades ácido-texturales de los catalizadores. La protonación del soporte incrementó la conversión (>60%), y la incorporación de Ru sobre el soporte protonado produjo un marcado efecto sinérgico metal-ácido, alcanzándose una selectividad a VP del 68% para Ru(2%)-H-Al-MCM-48. El catalizador Ni(7%)-H-Al-MCM-48 mostró menor conversión y selectividad (~30%), indicando menor eficiencia hidrogenante bajo las condiciones estudiadas, mientras que Pd disminuyó la actividad catalítica, probablemente por bloqueo parcial de sitios ácidos.



**Tabla 1.** Propiedades ácidas y desempeño catalítico de los catalizadores tipo MCM en la conversión de GVL

| Catalizador                                | % Conversión global<br>GVL | Acidez [ mmol/g cat. ] |                |
|--------------------------------------------|----------------------------|------------------------|----------------|
|                                            |                            | Potenciometría         | TPD - piridina |
| Al-MCM-48 (NaAlO <sub>2</sub> )            | 41,74                      | 0,44                   | 0,50           |
| Al-MCM-48 (AlCl <sub>3</sub> )             | 40,96                      | 0,19                   | 0,16           |
| Pd(2%)-Al-MCM-48 (NaAlO <sub>2</sub> )     | 24,35                      | 0,11                   | 0,38           |
| Ru(2%)-Al-MCM-48 (NaAlO <sub>2</sub> )     | 70,35                      | 0,35                   | 0,48           |
| H-Al-MCM-48 (NaAlO <sub>2</sub> )          | 63,75                      | 0,41                   | 0,38           |
| Ru(0,5%)-H-Al-MCM-48 (NaAlO <sub>2</sub> ) | 59,10                      | 0,32                   | n.d            |
| Ru(2%)-H-Al-MCM-48 (NaAlO <sub>2</sub> )   | 74,09                      | 0,37                   | 0,38           |
| Ni(7%)-H-Al-MCM-48 (NaAlO <sub>2</sub> )   | 59,59                      | 0,14                   | n.d            |
| Al-MCM-41 (NaAlO <sub>2</sub> )            | 52,85                      | 0,22                   | n.d            |
| Al-MCM-41 (AlCl <sub>3</sub> )             | 60,20                      | 0,15                   | 0,15           |

En conjunto, los resultados demuestran que la sinergia entre estructura mesoporosa, acidez controlada y función metálica determina la eficiencia catalítica en la valorización de GVL, destacándose Ru-H-Al-MCM-48 como el sistema más promisorio. La influencia de la protonación del soporte y del contenido de Ru sobre la conversión de GVL (%) y la selectividad hacia VP (%) se presenta en la Figura 1.



**Figura 1.** Conversión de  $\gamma$ -valerolactona ( $X_{GVL}$ ) y selectividad a valerato de pentilo ( $S_{VP}$ ) obtenidas sobre catalizadores Al-MCM-48 con diferente tratamiento y contenido metálico.

## Referencias

- [1] Martínez Figueredo, K. G., Martínez, F. A., Segobia, D. J., & Bertero, N. M. (2023). Valeric Biofuels from Biomass-Derived  $\gamma$ -Valerolactone: A Critical Overview of Production Processes. *ChemPlusChem*, 88(11). <https://doi.org/10.1002/cplu.202300381>
- [2] Lange, J. P., Price, R., Ayoub, P. M., Louis, J., Petrus, L., Clarke, L., & Gosselink, H. (2010). Valeric biofuels: a platform of cellulosic transportation fuels. *Angewandte Chemie International Edition*, 49(26), 4479-4483. <https://doi.org/10.1002/anie.201000655>
- [3] Chan-Thaw, C. E., Marelli, M., Psaro, R., Ravasio, N., & Zaccheria, F. (2013). New generation biofuels:  $\gamma$ -valerolactone into valeric esters in one pot. *RSC Advances*, 3(5), 1302-1306. <https://doi.org/10.1039/C2RA23043G>



## Impacto de diversas dosis de biochar en la velocidad crecimiento inicial de *phaseolus vulgaris* l. cv. flor de junio

Maricruz Roque-Aguirre<sup>a</sup>; J. Gabriel Ramírez-Pimentel<sup>b\*</sup>; Carolina Hernández-Navarro<sup>c</sup>; Jhon Sebastián Pérez Bedoya<sup>d</sup>, Nancy Acelas Soto<sup>e</sup>, Juan Muñoz Saldaña<sup>f</sup>, J. Carlos Raya-Pérez<sup>g</sup>

<sup>a</sup> m24980859@roque.tecnm.mx, Maestría en Ciencias en Producción y Tecnología de Semillas, Tecnológico Nacional de México en Roque, Celaya

<sup>b</sup> juan.rp1@roque.tecnm.mx, <sup>c</sup>carolina.hn@roque.tecnm.mx, <sup>g</sup>juan.rp2@roque.tecnm.mx División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México en Roque, Roque, Celaya, Guanajuato, México

<sup>d</sup> jspb89@gmail.com, <sup>e</sup>nyacelas@udemedellin.edu.co, Grupo de Investigación Materiales con Impacto (Mat&mpac), Instituto de Ciencias Básicas, Universidad de Medellín, Medellín, Colombia

<sup>f</sup>jmunoz@cinvestav.mx, Laboratorio Nacional de Proyección Térmica, Cinvestav Unidad Querétaro, Querétaro, México

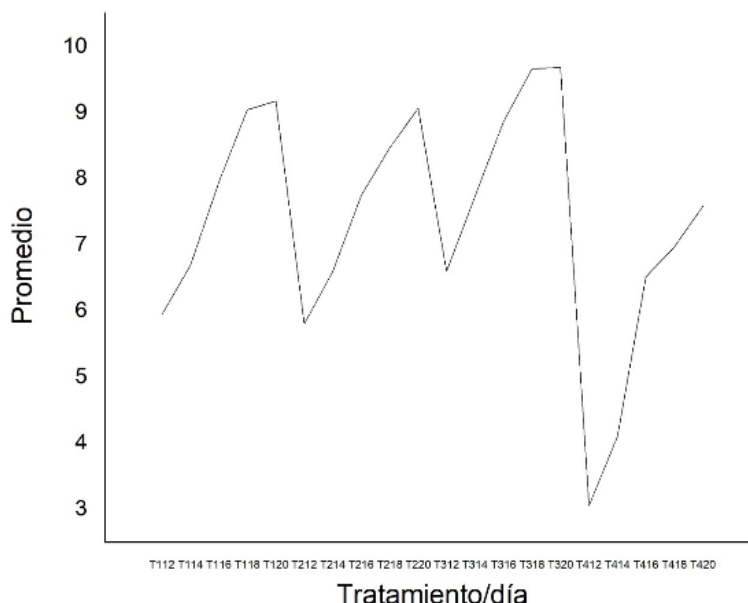
**Palabras clave:** *Phaseolus vulgaris*; biochar; cáscara de papa; crecimiento inicial; enmienda de suelo.

### Resumen

El biochar, material carbonoso obtenido mediante pirólisis de biomasa residual, ha sido ampliamente reconocido por su capacidad para mejorar las propiedades físico-químicas del suelo y favorecer el crecimiento vegetal, en función de su origen, condiciones de síntesis y dosis de aplicación (Lehmann & Joseph, 2015; Agegnehu et al., 2017). Diversos estudios han demostrado que su incorporación puede incrementar la productividad agrícola, aunque estos efectos dependen fuertemente del tipo de cultivo, las condiciones del suelo y la concentración aplicada (Liu et al., 2013; Jeffery et al., 2017). Adicionalmente, el biochar contribuye a la mejora de la estructura del suelo y al almacenamiento de carbono, consolidándose como una estrategia clave en sistemas agroecosistémicos sostenibles (Wang et al., 2017). En este contexto, investigaciones recientes han explorado el uso de biomásas residuales para el desarrollo de materiales funcionales, destacando su potencial en aplicaciones ambientales y agrícolas (Hernández-Navarro et al., 2023). En este trabajo se evaluó el efecto de diferentes dosis de biochar derivado de cáscara de papa y cáscara de huevo sobre el crecimiento inicial del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Flor de Junio), con el fin de identificar dosis que favorezcan el establecimiento temprano del cultivo. Se aplicaron cuatro tratamientos: 0% (T1), 2% (T2), 4% (T3) y 6% (T4) de biochar en suelo, con cinco repeticiones por tratamiento. El crecimiento (cm) se registró en cinco fechas (8, 10, 12, 14 y 16 días). Los datos fueron procesados para obtener el crecimiento promedio por tratamiento.

Los resultados mostraron una respuesta diferencial del cultivo según la dosis aplicada. El tratamiento T3 (4%) presentó los mayores valores promedio de crecimiento en todas las fechas, alcanzando 9.69 cm a los 10 días, mientras que T4 (6%) mostró el menor crecimiento (7.58 cm). En contraste, el tratamiento control T1 (0%) alcanzó 9.18 cm al final del ensayo. Estos resultados sugieren que dosis intermedias de biochar (4%) optimizan el crecimiento inicial del frijol, mientras que dosis elevadas (6%) pueden generar efectos inhibitorios, posiblemente asociados a cambios en la conductividad eléctrica o disponibilidad de nutrientes. la incorporación de biochar al suelo tiene un efecto dosis-dependiente sobre el crecimiento inicial de *Phaseolus vulgaris*, siendo la dosis del 4% la más recomendada dentro de las condiciones evaluadas. Se refuerza el potencial del aprovechamiento de residuos agroindustriales bajo un enfoque de economía circular, en concordancia con estudios recientes sobre biomásas alternativas, para el desarrollo de materiales funcionales de alto desempeño





**Figura 1.** Promedio de crecimiento por tratamiento.

## Referencias

- Agegnehu, G., Srivastava, A. K., & Bird, M. I. (2017). The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: A review. *Applied Soil Ecology*, 119, 156–170. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.008>
- Jeffery, S., Abalos, D., Prodana, M., Bastos, A. C., van Groenigen, J. W., Hungate, B. A., & Verheijen, F. G. A. (2017). Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Environmental Research Letters*, 12(5), 053001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa67bd>
- Hernández-Navarro, C., Pérez, S., Flórez, E., Acelas, N., & Muñoz-Saldaña, J. (2023). Sargassum macroalgae from Quintana Roo as raw material for the preparation of high-performance phosphate adsorbent from aqueous solutions. *Journal of Environmental Management*, 342, 118312. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118312>
- Liu, X., Zhang, A., Ji, C., Joseph, S., Bian, R., Li, L., Pan, G., & Paz-Ferreiro, J. (2013). Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions—a meta-analysis. *Plant and Soil*, 373(1–2), 583–594. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1806-x>
- Wang, D., Fonte, S. J., Parikh, S. J., Six, J., & Scow, K. M. (2017). Biochar additions can enhance soil structure and carbon storage in agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, 81(5), 1155–1165. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.03.0077>



# Valorización de glicerol, subproducto del biodiésel, a solketal mediante microondas empleando catalizadores ácidos mesoporosos.

Paola M. Carraro <sup>a,b\*</sup>, Marina Palacios <sup>a,b</sup>, Verónica R. Elías <sup>a,b</sup>, Griselda A. Eimer <sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Córdoba, Argentina.

<sup>b</sup> Centro de Investigación y Tecnología Química, Universidad Tecnológica Nacional, CONICET, FRC, Córdoba, Argentina. \*pcarraro@frc.utn.edu.ar

**Palabras clave:** glicerol, solketal, materiales mesoporosos ácidos.

## Resumen

El crecimiento económico y el desarrollo industrial han contribuido continuamente a un marcado aumento del consumo de recursos naturales y de la concentración de gases de efecto invernadero antropogénicos en la atmósfera. En este sentido, la búsqueda de fuentes de energía alternativas y procesos sostenibles ha impulsado el mercado mundial de combustibles limpios. Entre ellos, el biodiésel ha ganado gran protagonismo, al ser considerado un sustituto prometedor del diésel derivado del petróleo. Sin embargo, su producción genera un excedente de glicerol crudo equivalente al 10% en peso, cuya valorización es crucial para garantizar la viabilidad económica y ambiental del proceso. En este contexto, la acetalización de glicerol con acetona en presencia de un catalizador ácido conduce a la formación de solketal (2,2-Dimetil-1,3-dioxolano-4-metanol), un compuesto de alto valor añadido utilizado como aditivo para combustibles, solvente y componente en formulaciones farmacéuticas, cosméticas y de pesticidas (He et al. 2024).

Así, el objetivo del presente trabajo es sintetizar materiales mesoporosos modificados con diferentes cantidades de aluminio (Al/SBA-15(x)) mediante el método de incorporación directa para su posterior evaluación en la acetalización de glicerol, transformando un subproducto industrial en derivados de alto valor agregado.

Los catalizadores silíceos mesoporosos fueron sintetizados según metodología reportada por (Ferrero et al. 2026), utilizando Pluronic 123 (P123) como director de estructura, tetraetoxisilano (TEOS) como precursor de Si y nitrato de aluminio como precursor metálico (relación nominal Si/Al de 10, 20 y 40). Para establecer una relación entre las propiedades fisicoquímicas de los materiales y su actividad catalítica, se emplearon diferentes técnicas de caracterización.

Las principales propiedades texturales y químicas determinadas para las muestras de SBA-15 modificadas con Al se muestran en la Tabla 1. Todas las muestras presentaron isoterma de adsorción-desorción de N<sub>2</sub> del tipo IV, con una pendiente pronunciada que corresponde a la condensación capilar dentro de los mesoporos, lo que indica el desarrollo de mesoporosidad y una distribución estrecha del tamaño de poro. Al aumentar el contenido de Al, se observó una disminución en el área superficial, probablemente como consecuencia de la segregación de especies de óxido metálico (Tabla 1). Sin embargo, la fuerte caída en las ramas de desorción de los bucles de histéresis a p/p<sup>0</sup> alrededor de 0,75, permite inferir que estas especies no están bloqueando los mesoporos. Además, la mesoporosidad de los materiales también fue corroborada mediante difracción de rayos X (DRX) y microscopía electrónica de transmisión (TEM).

Las características ácidas de los sólidos estudiados son una propiedad esencial para su aplicación como catalizadores en la reacción de acetalización (Li et al. 2012). Así, mediante quimisorción de piridina (Py) seguida de FT-IR, se determinó la presencia de los diferentes tipos de sitios ácidos y su fuerza. Los sitios





ácidos unidos a Py que permanecen después de la desorción a 50 °C se asignaron a sitios ácidos de fuerza débil a moderada, y aquellos después de la desorción a mayor temperatura, 200 °C, se atribuyeron a sitios ácidos de fuerza moderada. La cuantificación de la relación entre sitios de Lewis (Le) y Brønsted (Br) en los sólidos después de la desorción de Py a 50 °C y 200 °C se reporta en la Tabla 1. Es posible observar que tanto los materiales con relación Si/Al =10 y 40 presentan altas relaciones Br/Le de fuerza moderada, en comparación con la muestra Si/Al=20.

Los catalizadores ácidos mesoporosos se evaluaron en la acetalización del glicerol con acetona bajo calentamiento por microondas. Los resultados de la conversión de glicerol se presentan en la Tabla 1, donde el catalizador con la relación Si/Al=20 presentó el valor más alto de conversión del 70 % y una selectividad a solketal de 97 % bajo las siguientes condiciones de reacción: relación glicerol/acetona=1/6, 70 °C, 8 % de catalizador (con respecto a la masa de glicerol), 400 rpm y 20 min de reacción. Todos los catalizadores presentaron altas selectividades hacia el producto deseado. Por lo cual, la actividad catalítica de estos materiales se atribuye a la accesibilidad de sus sitios activos, morfología y a la combinación adecuada de sitios ácidos. Sin embargo, el mayor rendimiento catalítico del catalizador que posee un 2,08 % en peso de Al (Al/SBA-15(20)), estaría asociado a una relación de sitios ácidos Br/Le de fuerza moderada adecuada, lo cual mejora la conversión de glicerol.

**Tabla 1.** Propiedades texturales, químicas y resultados catalíticos de los materiales.

| Catalizador   | Al<br>(%p(p) <sup>a</sup> ) | S <sub>BET</sub><br>(m <sup>2</sup> /g)<br><sup>b</sup> | Dp<br>(nm) <sup>c</sup> | Vp<br>(cm <sup>3</sup> /g) <sup>c</sup> | Br/Le |                     | Conversión de<br>glicerol (%) |
|---------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|-------|---------------------|-------------------------------|
|               |                             |                                                         |                         |                                         | 50°C  | 200 °C <sup>d</sup> |                               |
| Al/SBA-15(10) | 3,86                        | 576                                                     | 8,56                    | 1,02                                    | 0,52  | 6,60                | 60                            |
| Al/SBA-15(20) | 2,08                        | 725                                                     | 6,57                    | 1,00                                    | 0,63  | 0,78                | 70                            |
| Al/SBA-15(40) | 1,28                        | 750                                                     | 8,38                    | 1,22                                    | 0,17  | 1,74                | 62                            |

<sup>a</sup> ICP; <sup>b</sup> Método BET; <sup>c</sup> BJH rama adsorción; <sup>d</sup> Determinado mediante Py-FT-IR.

## Referencias:

- Ferrero G.O, Elías V.R., Idriceanu M.G., Eimer G.A., Domine M.E. (2026). *Catal. Today*, 462, 115562. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2025.115562>
- He J., Qiang Q., Bai L., Su W., Yu H. (2024). *Ind. Chem. Mater.*, 2, 30. <https://doi.org/10.1039/d3im00050h>
- Li L., Korányi T., Sels B.F., Pescarmona P.P. (2012). *Green Chem*, 14, 1611–1619. <https://doi.org/10.1039/c2gc16619d>.



## Descontaminación eficiente de efluentes textiles usando una arcilla natural: evaluación de la adsorción.

Jenny Alejandra García Mora<sup>a</sup>, María Cecilia Ávila<sup>b</sup>, María Lucía Ruíz

<sup>a</sup>[jennyalejandragarcia@gmail.com](mailto:jennyalejandragarcia@gmail.com), Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias (FICA)-Universidad Nacional de San Luis (UNSL), Villa Mercedes (San Luis), Argentina

<sup>b</sup>[mcavila@unsl.edu.ar](mailto:mcavila@unsl.edu.ar), FICA-UNSL, Villa Mercedes (San Luis), Argentina

<sup>d</sup>[mlruiz@unsl.edu.ar](mailto:mlruiz@unsl.edu.ar) INTEQUI-CONICET, FICA-UNSL, Villa Mercedes (San Luis), Argentina

**Palabras clave:** adsorción, carbón activado, colorante catiónico

### Resumen

Se estudia la eliminación, remoción o captura de la materia orgánica coloreada contaminante presente en aguas residuales mediante procesos de adsorción. Por consiguiente, es de interés evaluar una arcilla natural con alta capacidad y velocidad de adsorción para remover un colorante catiónico como es el azul de metileno (AM). La arcilla seleccionada es una bentonita de origen natural cálcica magnésica de bajo hinchamiento proveniente de la provincia de San Juan (Argentina).

En un sistema batch, se ponen en contacto una concentración inicial ( $C_i$ ) de solución coloreada de AM con una masa de bentonita natural. Ambos se colocan en contacto un tiempo  $t$  (min), en un reactor con agitación constante a temperatura controlada, y a un pH conocido. A diferentes tiempos (10, 20 30, 60 120 y 180 min) se toma una muestra, y se mide la concentración final por espectroscopia óptica con un espectrofotómetro UV-188 Shimadzu, que posee el software UV-Probe, trabajando con la curva de calibración a la longitud de onda máxima ( $\lambda_{max}$ ) del compuesto orgánico previamente realizada. La capacidad de adsorción y el comportamiento cinético se analizaron aplicando múltiples modelos incluidos los de Pseudo-Primer Orden de Lagergren [1], Pseudo Segundo Orden (PSO) o de Ho-Mckay [2], y el Modelo de Elovich [3]. En los modelos aplicados para analizar el proceso de adsorción,  $Q_e$  y  $Q_t$  representa la cantidad de AM adsorbido en el equilibrio y a tiempo  $t$ , por gramo de adsorbente, expresado en mg/g respectivamente. El ajuste de datos y las comparaciones de modelos se realizaron utilizando una planilla de cálculo para identificar el mecanismo cinético más adecuado que rige el proceso de adsorción. A continuación, se detalla cada modelo usado y los resultados obtenidos:

**Modelo de Lagergren o PPO:** los valores de la constante de velocidad  $k_1$  (L/min) y  $Q_e$  fueron calculados desde la pendiente y la intersección del  $\ln(Q_e - Q_t)$  como una función del tiempo de acuerdo con la ecuación matemática  $\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - k_1 t$ . La constante de velocidad de Pseudo primer orden, representa la velocidad de adsorción proporcional a la diferencia entre  $Q_e$  y  $Q_t$ .

**Modelo cinético de Pseudo Segundo Orden Ho y McKay:** en su forma lineal está expresado por la ecuación  $t/Q_t = 1/k_2 Q_e^2 + t/Q_e$ . Donde  $Q_e$  (mg/g) está asociado con la fuerza de valencia o intercambio de electrones y de  $k_2$  (g/mg) obtenidas desde la pendiente y la intersección de  $t/Q_e$  en función de  $t$ , a partir de la linealización de las curvas experimentales. Se observa que el modelo de PSO es el más fiable para determinar el orden de la cinética de adsorción del AM con la arcilla natural, con un coeficiente de correlación superior al 99 %, ya que el valor calculado de  $Q_t$  es muy similar al determinado experimentalmente. De los resultados de la Tabla 1, los valores de la constante  $k_2$  infieren que a medida que aumenta la  $C_i$  disminuye la velocidad de adsorción. Se puede interpretar que el sistema adsorbato-adsorbente sigue un mecanismo de adsorción de PSO o Ho y McKay, ya que los valores del parámetro  $R^2$  se aproximan a 1 en las condiciones estudiadas.

**Modelo de Elovich:** representado por la ecuación matemática  $Q_t = \ln(\alpha\beta) + 1/\beta \ln t$  donde el parámetro  $\beta$  (g/mg) se relaciona con la energía de activación para la adsorción química y proporciona información sobre el grado de cobertura de la superficie. Además,  $\alpha$  (mg/g.min) representa la velocidad de adsorción inicial y describe el comportamiento de adsorción al inicio del proceso, es decir, a  $t = 0$ . Estos parámetros, derivados



del ajuste de los datos experimentales a los modelos cinéticos, proporcionan información detallada sobre la dinámica de adsorción y los mecanismos que rigen el proceso [4].

Los resultados logrados de los tres modelos se condensan en la Tabla 1. De acuerdo a los valores del coeficiente de correlación  $R^2$  cercanos a la unidad, el modelo de Pseudo Segundo Orden se impone sobre los modelos cinéticos de Pseudo Primer Orden y el Modelo de Elovich. Esto sugiere que las interacciones químicas determinan la cinética de la adsorción, conocida como quimisorción [5] y que la velocidad de adsorción depende de la concentración del colorante AM.

**Tabla 1.** Parámetros Cinéticos de los modelos de PPO, PSO y Elovich

| $C_i$<br>(mg/g) | $Q_e^{exp}$<br>(mg/g) | PPO     |       |       | PSO     |         |       | Elovich |          |       |
|-----------------|-----------------------|---------|-------|-------|---------|---------|-------|---------|----------|-------|
|                 |                       | $Q_e^T$ | $k_1$ | $R^2$ | $Q_e^T$ | $k_2$   | $R^2$ | $\beta$ | $\alpha$ | $R^2$ |
| 40              | 216,95                | 215,95  | 0,508 | 0,999 | 217,39  | 0,01923 | 1     | 0,025   | 175,87   | 0,692 |
| 60              | 354,75                | 335,72  | 0,169 | 0,985 | 357,14  | 0,00081 | 0,997 | 0,015   | 169,10   | 0,846 |
| 100             | 308,15                | 289,09  | 0,159 | 0,976 | 303,09  | 0,00114 | 0,994 | 0,018   | 149,45   | 0,805 |

$Q_e^T$ , capacidad de adsorción en el equilibrio teórica.

## Referencias

- [1] Lagergren, S. (1898). Zur Theorie der sogenannten Adsorption gelöster Stoffe. Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar, 24, 1–39.
- [2] Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. Process Biochemistry, 34(5), 451–465. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(98\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00112-5)
- [3] Elovich, S. Y., & Larionov, O. G. (1962). Theory of adsorption from nonelectrolyte solutions on solid adsorbents. Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR, Division of Chemical Science, 11(2), 191–197. <https://doi.org/10.1007/BF00908017>
- [4] Pereira, A., Freitas, A., Silva, M., Camara, A., Moura, H., Ballesteros-Plata, D., Rodríguez-Castellón, E., & de Carvalho, L. (2025). Efficient removal of tetracycline hydrochloride via adsorption onto modified bentonite: Kinetics and equilibrium studies. Applied Sciences, 15, 3372. <https://doi.org/10.3390/app15063372>
- [5] Handayani, T., Emriadi, Deswati, Ramadhani, P., & Zein, R. (2024). Modelling studies of methylene blue dye removal using activated corn husk waste: Isotherm, kinetic and thermodynamic evaluation. South African Journal of Chemical Engineering, 47, 15–27.



## HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS, MODELACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS – HAMOP



# De hojas de cálculo a redes neuronales: Experiencia sobre el uso de herramientas computacionales como estrategia de investigación formativa en sistemas de energías renovables.

Luis Octavio González-Salcedo<sup>a\*</sup>.

<sup>a\*</sup> [logonzalezsa@unal.edu.co](mailto:logonzalezsa@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira-Colombia

**Palabras clave:** Educación en Ingeniería, Energías renovables, Informática, Inteligencia Artificial.

## Resumen

El dimensionamiento de sistemas energéticos alternativos, implican la disyuntiva técnica y pedagógica: el uso de métodos manuales simplificados pudiendo incluir imprecisiones, o la aplicación de software comercial tipo caja negra limitando la comprensión fenomenológica de los procesos. Bajo esta premisa, este trabajo se enmarca como una sistematización de experiencia de investigación formativa, en la cual se organiza y analiza de manera reflexiva una trayectoria de desarrollo de herramientas computacionales aplicadas al dimensionamiento de sistemas solares y biodigestores. Entonces, el aporte no es una revisión de literatura ni la presentación de resultados aislados, sino la articulación de una experiencia acumulada que integra la evolución tecnológica de las herramientas, sus criterios de validación técnica y su incidencia en la formación de competencias en ingeniería.

La metodología adoptada evidencia que la validación de las herramientas desarrolladas no es únicamente conceptual, sino también cuantitativa. Como se detalla (Tabla 1), los modelos neuronales artificiales logran coeficientes de correlación  $R > 0,97$  en las fases de entrenamiento, prueba, validación y simulación, demostrando alto nivel de precisión frente a métodos convencionales; sustentando la confiabilidad técnica de los desarrollos y respaldando su aplicabilidad en problemas reales de dimensionamiento, consolidando el tránsito desde herramientas iniciales en hojas de cálculo (Tabares et al., 2009) hasta implementaciones más avanzadas en entornos de programación (Bedoya et al., 2024) y aprendizaje automático (Tabarquino et al., 2016; Sánchez & González-Salcedo, 2021).

De manera complementaria, la sistematización identifica una relación directa entre el desarrollo tecnológico y las estrategias pedagógicas implementadas. En todos los casos analizados, las herramientas fueron concebidas en el marco de procesos de investigación formativa, principalmente a través de trabajos de grado y proyectos académicos, en los cuales el estudiante participa en la construcción del modelo. Además de favorecer la apropiación progresiva de conocimientos en áreas como energía solar, biodigestión, modelado matemático y programación, se fortalecen competencias transversales como la redacción científica y el análisis de datos. El impacto formativo se evidencia con indicadores concretos asociados a los productos derivados del proceso (Tabla 1): memorias de trabajos de grado, artículos en revistas científicas y ponencias en congresos, reflejando procesos efectivos de apropiación social y científica del conocimiento; de manera particular, uno de los desarrollos fue distinguido como Mejor Trabajo de Grado en Ingeniería Agrícola (2024), siendo un indicador de la calidad tanto técnica como formativa de la estrategia implementada.

En conjunto, la experiencia sistematizada demuestra que la creación de herramientas computacionales propias trasciende su carácter instrumental y configura una estrategia pedagógica de alto impacto, promueve la comprensión fenomenológica de los procesos antes de su automatización, y contribuye a la formación de ingenieros con capacidades integrales en análisis, modelación y desarrollo tecnológico. Se abre una agenda futura para nuevos desarrollos que integren destrezas clásicas con tecnologías de optimización en tiempo real.





**Tabla 1.** Resultados del uso de herramientas computacionales como estrategia de investigación formativa en energías renovables.

| Herramienta computacional         | Finalidad                                          | Validación                                                                                  | Estrategia pedagógica                                                             | Apropiación de conocimiento                                                                    | Impacto                                                                                     |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2009: Hojas de cálculo en Excel   | Dimensionar sistema fototérmico ACS y fotovoltaico | Validado con metodología de diseño de CENSOLAR.                                             | Trabajo de grado                                                                  | Memoria Trabajo de Grado; Ponencia en congreso                                                 | Conocimiento y destrezas: energía solar térmica y fotovoltaica; Excel; redacción científica |
| 2016: Red neuronal artificial MLP | Dimensionar biodigestor tipo balón                 | R=1,00 R=0,9999<br>R=0,9988<br>R=0,9998                                                     | Trabajo de grado                                                                  | Memoria Trabajo de Grado; Artículo en revista                                                  | Conocimiento y destrezas: biodigestores; MATLAB y RNA; redacción científica                 |
| 2022: Red neuronal artificial MLP | Dimensionar sistema fototérmico ACS                | R=0,9929<br>R=0,9867<br>R=0,9737<br>R=0,9872                                                | Trabajo de grado                                                                  | Memoria Trabajo de Grado; Ponencia en congreso; Artículo en revista                            | Conocimiento y destrezas: energía solar térmica; MATLAB y RNA; redacción científica         |
| 2024: Código computacional        | Dimensionar biodigestor tipo balón                 | Martí Herrero, J. 2019.<br>Biodigestores tubulares: guía de diseño y manual de instalación. | Proyecto jornada docente, Proyecto convocatoria 894 MINCIENCIAS, Trabajo de Grado | Documentos de trabajo; Memoria Trabajo de Grado; Ponencias en congreso; Mejor Trabajo de grado | Conocimiento y destrezas: biodigestores; Python y RNA; redacción científica                 |

**Nota.** la validación computacional de las redes neuronales se basó en la evaluación de la precisión de las mismas usando el coeficiente de correlación R (entrenamiento, prueba, validación y simulación)

## Referencias

Bedoya C., J.S., González-Salcedo, L.O., & Leal, J.J. (2024). Elaboración de un código computacional para el diseño de biodigestores tipo balón. *Memorias del XII Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola, Biosistemas y Afines (CIABA 2024)*. Bogotá, Colombia.

Sánchez, L.F., & González-Salcedo, L.O. (2021). Exploración en el dimensionamiento de sistemas de energía solar térmica para ACS usando redes neuronales artificiales. *Ciencia y Tecnología*, 37(1), 1-8.

Tabares V., L.J., González-Salcedo, L.O., & Rojas G., A.F. (2009). Elaboración de módulos interactivos en Excel®, para el diseño de sistemas de aprovechamiento de la energía solar. *Memorias de la VI Conferencia Internacional de Energía Renovable, Ahorro de Energía y Educación Energética (CIER 2009)*. La Habana, Cuba.

Tabarquino, V.H., González-Salcedo, L.O., & Will, A.L. (2016). Estimación del volumen de un biodigestor tipo balón usando redes neuronales artificiales. *Informador Técnico*, 80(1), 41-48.



# Influencia de la velocidad de agitación sobre la hidrodinámica y el contacto fluido-catalizador en un reactor de tanque agitado con impulsor de espuma cerámica mediante CFD

Jesús A. Mizger Ortega<sup>a\*</sup>, Inés S. Tiscornia<sup>b</sup>, Soledad G. Aspromonte<sup>c</sup>

<sup>a\*</sup> [jmizger@ful.unl.edu.ar](mailto:jmizger@ful.unl.edu.ar), INCAPE-FIQ (CONICET-UNL), Santa Fe, Argentina.

<sup>b</sup> [itiscornia@fiq.unl.edu.ar](mailto:itiscornia@fiq.unl.edu.ar), INCAPE-FIQ (CONICET-UNL), Santa Fe, Argentina.

<sup>c</sup> [saspromonte@fiq.unl.edu.ar](mailto:saspromonte@fiq.unl.edu.ar), INCAPE-FIQ (CONICET-UNL), Santa Fe, Argentina.

**Palabras clave:** Hidrodinámica, catalizador estructurado, transferencia de masa, MFR

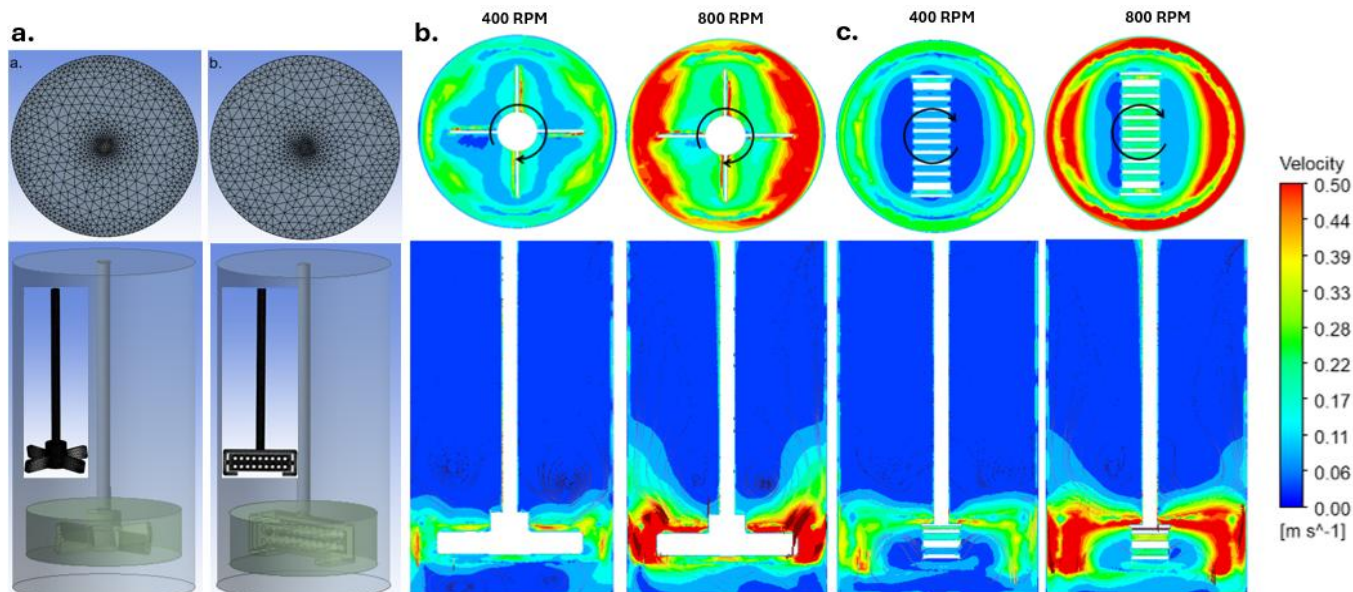
## Resumen

La conversión catalítica de glucosa representa una vía de obtención de productos químicos de alto valor. Muchos estudios reportan la utilización de reactores tipo slurry para este proceso, donde el catalizador sólido se dispersa en el medio líquido, limitando la separación y recuperación del catalizador y provocando resistencias difusionales internas y externas (Vik et al., 2018). En virtud de estas restricciones, la concepción integrada de catalizadores estructurados y el diseño del reactor surge como un enfoque estratégico en la ingeniería de reactores, orientado a optimizar el desempeño del proceso. Entre las alternativas, las estructuras cerámicas porosas como las espumas, han demostrado ser atractivas para el desarrollo de catalizadores estructurados (Sun et al., 2024). En este sentido, el control de los fenómenos de transporte y de contacto entre la fase líquida y el catalizador estructurado resulta de interés para optimizar el rendimiento de productos deseados. En este trabajo se analiza el efecto de la velocidad de agitación sobre la hidrodinámica y los fenómenos de transporte en un reactor de tanque agitado empleando un agitador catalítico estructurado tipo espuma cerámica. Se comparó su desempeño con un impulsor convencional de cuatro palas mediante dinámica de fluidos computacional (CFD, *Computational Fluid Dynamics*). La espuma cerámica no forma parte de la síntesis del catalizador en este estudio, sino que se emplea directamente como estructura activa, cumpliendo simultáneamente funciones de agitador y de soporte catalítico. Las simulaciones se realizaron utilizando el método de marcos múltiples de referencia (MFR) para simular la zona de rotación, el modelo  $\kappa - \varepsilon$  realizable para modelar la turbulencia y el algoritmo SIMPLE para modelar la presión-velocidad con un esquema de discretización de segundo orden.

El modelo computacional fue desarrollado con el software ANSYS Fluent CFD (Figura 1a). Las ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento se resolvieron discretizando el modelo del reactor en un conjunto finito de volúmenes mediante la generación de una malla numérica no estructurada compuesta por tetraedros. El análisis de independencia de malla demostró que los resultados no dependen del dominio computacional.

Las Figuras 1b y 1c muestran los contornos de velocidad de campo de flujo y velocidad radial generados en ambos sistemas para velocidades de 400 y 800 rpm. Se observa una modificación de la distribución de velocidades y las estructuras de flujo en ambas configuraciones.





**Figura 1.** Modelo del reactor de 4 y 2 palas para a) Geometría tridimensional y malla, b) Velocidad de agitación en el plano rz y c) Contorno de velocidad radial.

El sistema convencional de cuatro palas muestra zonas de recirculación de flujo tanto por debajo como por encima del impulsor, mientras que en el impulsor tipo espuma la mayor parte de las recirculaciones se presentan en la región superior del agitador, con zonas de baja velocidad en forma de elipse debajo de la estructura. Este fenómeno puede deberse a la recirculación del fluido a través de los canales de la espuma, lo que se traduce en una disminución del arrastre ejercido sobre el líquido, modificando los patrones de recirculación. Por otro lado, la magnitud de velocidad radial aumenta a medida que incrementa la distancia respecto al eje del reactor, alcanzando valores elevados en las regiones cercanas a la pared en ambos casos. En el sistema convencional este aumento de la velocidad radial se observa en las puntas y largo de las palas debido al contacto directo entre el fluido y la superficie del impulsor, mientras que, en el impulsor estructurado, al fluir el líquido por los canales de la espuma se reduce el impacto directo del fluido sobre el impulsor disminuyendo la magnitud de velocidad radial cerca del sistema de agitación.

Las diferencias observadas en los patrones de flujo inciden directamente sobre el desempeño del proceso catalítico. En este sentido, una disminución en los gradientes de velocidad puede reducir la contribución de la transferencia convectiva externa, mientras que el flujo interno en la estructura puede favorecer mecanismos difusivos controlados por la geometría del material. Esto podría impactar en la selectividad de la reacción, al modificar el tiempo efectivo de contacto entre reactivos y sitios activos. Estos resultados evidencian que el diseño del sistema de agitación, particularmente cuando integra funcionalidad catalítica, no solo modifica la hidrodinámica del reactor, sino que redefine los mecanismos de interacción entre transporte y reacción, posicionando a la velocidad de agitación como un parámetro crítico en la optimización de reactores catalíticos estructurados.

## Referencias

- Sun, H., Zou, B., Wang, X., Chen, W., Zhang, G., Quan, T., & Huang, C. (2024). *Materials Chemistry and Physics*, 319, 129337. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2024.129337>
- Vik, C. B., Solsvik, J., Hillestad, M., & Jakobsen, H. A. (2018). *Chemical Engineering Science*, 192, 1138-1156. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2018.08.018>



## Estimación de la conductividad eléctrica de masas batidas libres de gluten

**Camila M. Buono<sup>a\*</sup>, Sandro M. Goñi<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *buono.camila@ing.unlp.edu.ar, Fac. de Ingeniería, UNLP, La Plata, Argentina*

<sup>b</sup> *sandro.goni@ing.unlp.edu.ar, Fac. de Ingeniería, UNLP, CIDCA, La Plata, Argentina*

**Palabras clave:** panificados – electricidad – cocción – eficiencia energética

### Resumen

El calentamiento óhmico de alimentos consiste en hacer pasar una corriente eléctrica a través del mismo, generando calor debido al desplazamiento de moléculas o iones con carga eléctrica conforme a la ley de Joule. A diferencia de los métodos convencionales, la tecnología óhmica se caracteriza por proporcionar un calentamiento volumétrico homogéneo y tiempos de procesamiento notablemente menores. Entre sus ventajas se incluyen una elevada capacidad de regulación de la velocidad de calentamiento, apagado inmediato, ausencia de transferencia de calor residual entre equipos y ambiente, bajo costo de mantenimiento, alta eficiencia en la conversión energética (de electricidad a calor) y un menor consumo energético. Estas características posicionan al calentamiento óhmico como una alternativa más sustentable con el medio ambiente (Sastry et al., 2016), favoreciendo la sostenibilidad del procesamiento alimentario (Marra, 2023). Uno de las propiedades claves para el diseño del proceso es la conductividad eléctrica  $\sigma$  del alimento. En este sentido, el objetivo de este trabajo fue determinar  $\sigma$  de masas batidas libre de gluten. Se realizaron experiencias de horneado usando la red eléctrica domiciliar a 50 Hz, con campos eléctricos de 1500, 2000 y 2500 V/m, con una celda óhmica de acrílico (9 cm de ancho) con electrodos de acero inoxidable (9 cm de separación). La muestra utilizada fue una premezcla comercial libre de gluten, con harina de maíz y mandioca. En cada caso se registró la temperatura, corriente y voltaje en función del tiempo (Mattioli et al., 2024). A partir de los perfiles de temperatura obtenidos y utilizando un balance macroscópico de energía (Içier, 2016), se ajustó  $\sigma$  como un polinomio de 1° grado respecto a la temperatura, usando métodos de regresión no-lineal. Se consideraron dos regiones divididas en 70°C, temperatura aproximada a la cual comienza a ocurrir la gelatinización del almidón (Wang y Sastry, 1997), y que genera cambios en la pendiente de  $\sigma$ . Para los ajustes, se utilizaron los perfiles promedio de 5 determinaciones experimentales. Para cada campo eléctrico analizado, la Tabla 1 muestra la  $\sigma$  ajustada y el error relativo porcentual del ajuste. Como puede verse el error máximo del ajuste fue de 1.2%, lo cual indica que el modelo usado representa muy bien el comportamiento del sistema. El valor de  $\sigma$  debe ser independiente del campo eléctrico, por lo cual se realizó un ajuste simultáneo de los datos para todos los campos eléctricos de manera de obtener parámetros únicos (Tabla 1). La Figura 1 compara los valores experimentales con las predicciones del modelo ajustado para este último caso. Con base en estos resultados, se concluye que la utilización conjunta de los perfiles de temperatura y un modelo con conductividad eléctrica variable, dividido en dos regiones, permite estimar satisfactoriamente esta propiedad.

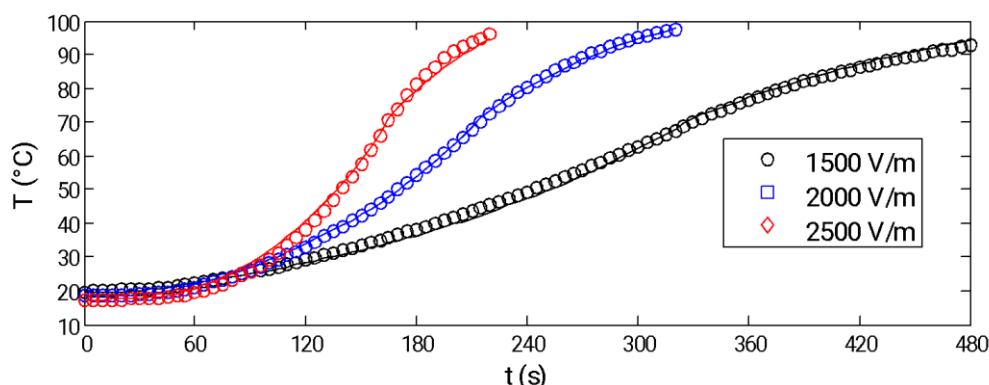




**Tabla 1.** Ajustes del modelo de conductividad eléctrica,  $\sigma = \alpha + \beta T$

|                           |          | Campo eléctrico (V/m) |           |           | Todos los campos |
|---------------------------|----------|-----------------------|-----------|-----------|------------------|
|                           |          | 1500                  | 2000      | 2500      |                  |
| $T \leq 70^\circ\text{C}$ | $\alpha$ | 1,52E-02              | -3,66E-02 | -7,52E-02 | -2,62E-2         |
|                           | $\beta$  | 4,50E-03              | 6,10E-03  | 7,40E-03  | 5,73E-3          |
| $T > 70^\circ\text{C}$    | $\alpha$ | 8,56E-01              | 9,64E-01  | 2,04E+00  | 6,99E-1          |
|                           | $\beta$  | -8,20E-03             | -9,10E-03 | -2,00E-02 | -6,17E-3         |
| ER(%)                     |          | 0,86                  | 0,98      | 1,20      | 2,51*            |

\* Promedio para los tres campos eléctricos



**Figura 1.** Datos experimentales (símbolos) y ajuste del modelo (líneas) vs tiempo, usando una sola  $\sigma$  para todos los campos eléctricos.

## Referencias

- Içier, F. (2016). Chapter 16, Modeling static vs. continuous system. In: Ramaswamy, H., Marcotte, M., Sastry, S. y Abderlahin, K. Comp., *Ohmic Heating in Food Processing* (pp. 213-265). CRC Press, Taylor and Francis.
- Marra, F. (2023). Combining computer aided food engineering and electro-heating applications as contribution to food processing sustainability. *Frontiers in Sustainability*, 4, e1170467. <https://doi.org/10.3389/frsus.2023.1170467>
- Mattioli, N. G, Olivera, D. F., Salvadori, V. O., Marra, F. y Goñi, S. M. (2024). Ohmic baking of gluten free sponge cake: Analysis of technological and quality characteristics. *LWT Food Science and Technology*, 203, 116357. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116357>
- Sastry, S. K., Heskitt, B. F., Sarang, S. S., Somavat, R. y Ayotte, K. (2016). Chapter 2, Why ohmic heating? Advantages, applications, technology, and limitations. In: Ramaswamy, H., Marcotte, M., Sastry, S. y Abderlahin, K. Comp., *Ohmic Heating in Food Processing* (pp.7-14). CRC Press, Taylor and Francis.
- Wang, W.-C. y S. K. Sastry. (1997). Starch gelatinization in ohmic heating. *Journal of Food Engineering*, 34(3), 225-242. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(97\)00085-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(97)00085-X)





# Estrategia biocatalítica para mejorar la eficiencia energética en la producción de panela

**Roberto Luis Izquierdo Richter<sup>a\*</sup>, Diego Camilo Durán García<sup>b</sup>, Mónica Viviana Sandoval Rincón<sup>c</sup>**

<sup>a\*</sup> [rizquierdo@unal.edu.co](mailto:rizquierdo@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia Sede de La Paz, La Paz, Cesar, Colombia

<sup>b</sup> [diduran@unal.edu.co](mailto:diduran@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia Sede de La Paz, La Paz, Cesar, Colombia

<sup>c</sup> [mosandovalr@unal.edu.co](mailto:mosandovalr@unal.edu.co), Universidad Nacional de Colombia Sede de La Paz, La Paz, Cesar, Colombia

**Palabras clave:** Jugo de caña; viscosidad; celulasa inmovilizada; biocatálisis.

## Resumen

La agroindustria panelera se ha consolidado como un sector estratégico para la sostenibilidad rural en Colombia (Jiménez-Carvajal et al., 2024); sin embargo, enfrenta limitaciones energéticas especialmente durante la etapa de evaporación del jugo de caña (Gutiérrez-Mosquera et al., 2018; Mendieta Menjura & Escalante Hernández, 2013). En esta etapa la viscosidad del sistema dificulta la transferencia de calor de modo que incrementa los requerimientos energéticos, y como consecuencia, los productores se ven obligados a recurrir a combustibles adicionales que impactan negativamente al medio ambiente. Frente a este escenario mediante este estudio se evaluó la aplicación de un tratamiento enzimático como estrategia biocatalítica del proceso. Consistió en el uso de celulasa de *Trichoderma reesei* inmovilizada en perlas de alginato de sodio con el objetivo de modificar componentes estructurales del jugo que permitan mejorar la transferencia de calor.

La inmovilización de enzimas se llevó a cabo mediante encapsulación en perlas de alginato de sodio en un proceso de gelificación iónica, donde la celulasa fue rehidratada en buffer citrato 50 mM (pH 5,0) y mezclada con alginato de sodio al 3% (p/v) en proporción 1:1, para luego ser goteada en una solución de cloruro de calcio 0,2 M mantenida a bajas temperaturas (Kumar et al., 2017). Se empleó un diseño factorial completamente aleatorio 4 x 2 x 2 con tres factores: carga enzimática (0, 1, 5 y 8 U/mL), tiempo de incubación (15 y 30 min) y temperatura (37 y 45 °C). También, se evaluó el efecto de la carga total en el preparado inmovilizado (50, 100 y 200 U totales) bajo condiciones de 45 °C y 20 min con 7 mL de jugo por unidad experimental. Los parámetros fisicoquímicos evaluados fueron pH, ° Brix y viscosidad. Para confirmar la actividad hidrolítica de la enzima se empleó un método de DNS modificado para cuantificar los azúcares reductores.

De acuerdo con los resultados, la respuesta del sistema depende tanto de la carga enzimática expresada en U/mL como también de la carga total incorporada en el preparado inmovilizado. Preparados de 100 U totales y cargas de 5 – 8 U/mL lograron reducciones medias de 6,62 – 9,00 °Brix con disminuciones de viscosidad de 1,258 a 1,118 mPa.s. Mediante análisis de varianza (ANOVA / ANCOVA) se confirmó que la carga enzimática fue el único factor con efecto significativo sobre los °Brix ( $F = 1374$ ,  $p < 0,0001$ ) y la viscosidad ( $F = 515,53$ ,  $p < 0,0001$ ). Los efectos del tiempo y de la temperatura no fueron significativos en el rango estudiado. Para el efecto del pH no solo la carga enzimática tuvo efecto significativo ( $F = 1334,9$ ,  $p < 0,0001$ ), sino también el tiempo de incubación ( $p = 0,008$ ). La prueba de Tukey mostró diferencias significativas entre todas las cargas enzimáticas ( $p = 0,0001$ ). Además, mediante la ecuación  $Viscosidad (mPa.s) = -0,0155 \times \Delta Brix + 1,2555$  se halló una correlación negativa entre la reducción de los °Brix y la viscosidad estadísticamente significativa ( $r = -0,909$ ,  $R^2 = 0,827$ ,  $p < 0,0001$ ). Esto sugiere que ambas variables responden a un mismo fenómeno bioquímico, debido a la hidrólisis enzimática de polisacáridos estructurales presentes en el jugo de caña.



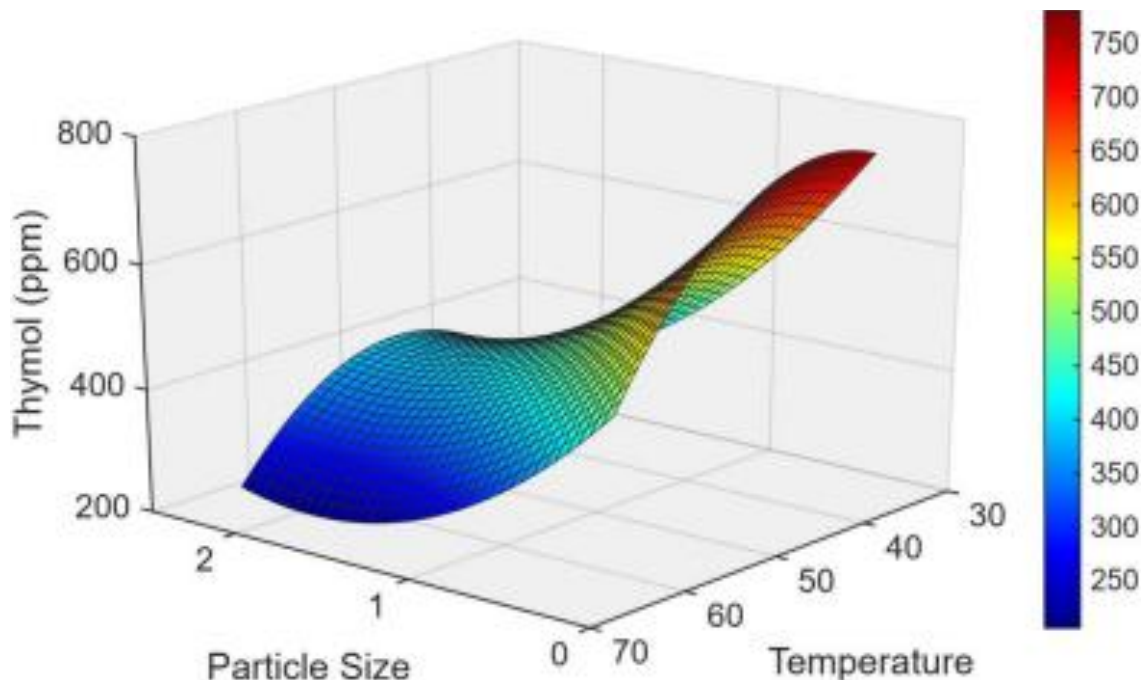
Los resultados obtenidos demuestran que la estrategia biocatalítica aplicada es efectiva para modificar las propiedades fisicoquímicas del jugo de caña, la cual logra reducir significativamente la viscosidad y el contenido de sólidos solubles bajo condiciones de reacción controladas. En conjunto, estos hallazgos evidencian el potencial de la biocatálisis enzimática, que puede ser usada como herramienta para la intensificación del proceso en la agroindustria panelera, capaz de contribuir a la mejora de la transferencia de calor durante la evaporación. Además de ampliar las perspectivas para el desarrollo de nuevas estrategias que sean más eficientes y sostenibles en la producción de panela.

## Referencias

- Gutiérrez-Mosquera, L. F., Arias-Giraldo, S., & Ceballos-Peñaloza, A. M. (2018). *Energy and productivity yield assessment of a traditional furnace for noncentrifugal brown sugar (panela) production*. International Journal of Chemical Engineering, 2018, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2018/6841975>
- Jiménez-Carvajal, D. A., Sánchez-Avilés, A. M., Hernández-Núñez, H. E., Gutiérrez-García, G. A., Rojas-Vargas, S., & Hembuz-Falla, G. D. (2024). *Role of sugarcane cultivation for panela production in the livelihood strategies of peasant families in the Colombian Amazon*. Human Ecology, 52(2), 409–423. <https://doi.org/10.1007/s10745-024-00494-5>
- Kumar, S., Haq, I., Prakash, J., & Raj, A. (2017). *Improved enzyme properties upon glutaraldehyde cross-linking of alginate entrapped xylanase from Bacillus licheniformis*. International Journal of Biological Macromolecules, 98, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.104>
- Mendieta Menjura, O. A., & Escalante Hernández, H. (2013). *Experimental analysis of the evaporation of sugar cane juice by film on a flat plate*. Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 14(2), 113-127. <http://ref.scielo.org/rcz6rs>







**Figura**

1. Gráfica de superficie de PPM vs tamaño de partícula; temperatura para la concentración de timol (ppm).

## Referencias:

Zahari NAAR, Chong GH, Abdullah LC, Chua BL. Ultrasonic-Assisted Extraction (UAE) Process on Thymol Concentration from *Plectranthus Amboinicus* Leaves: Kinetic Modeling and Optimization. *Processes*. 2020; 8(3):322. <https://doi.org/10.3390/pr8030322>

Ayala-Aponte AA, Cárdenas-Nieto JD, Tirado DF. *Aloe vera* Gel Drying by Refractance Window®: Drying Kinetics and High-Quality Retention. *Foods*. 2021 Jun 22;10(7):1445. doi: 10.3390/foods10071445. PMID: 34206407; PMCID: PMC8303464.

Henderson, S.M. (1961). Grain Drying Theory (I) Temperature Effect on Drying Coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6, 169-174.

Midilli, A., Kucuk, H., & Yapar, Z. (2002). A NEW MODEL FOR SINGLE-LAYER DRYING. *Drying Technology*, 20(7), 1503–1513. <https://doi.org/10.1081/DRT-120005864>

Page, G.E. (1949). FACTORS INFLUENCING THE MAXIMUM RATES OF AIR DRYING SHELLLED CORN IN THIN LAYERS.



## Hacia una industria ladrillera baja en carbono: un enfoque de ciclo de vida para identificar estrategias de descarbonización

Luisa Fernanda Mosquera Idrobo<sup>a</sup>, Dorian Prato García<sup>b</sup>, Carolina Bedoya Muñoz<sup>c</sup>, Janneth Torres Agredo<sup>d\*</sup>,

<sup>a</sup>*lufmosqueraid@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Palmira*

<sup>b</sup>*dpratog@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Palmira*

<sup>c</sup>*cabedoya@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Palmira*

<sup>d</sup>*jtortresa@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Palmira*

**Palabras clave:** Análisis de Ciclo de Vida, Construcción sostenible, Ladrillos de arcilla.

### Resumen

A nivel mundial, el mercado de ladrillos de arcilla cocida se valoró en 1,6 billones de dólares en 2022 y se estima una tasa de crecimiento anual compuesta del 3,1% entre 2023 y 2030 (S'habou et al., 2025). El consumo mundial de este material es enorme, con estimaciones que indican que la producción es de aproximadamente 2,18Gt anuales (Xie et al., 2025). Este nivel de producción implica un uso intensivo de materiales arcillosos (3,13 mil millones m<sup>3</sup>/año), cuya extracción genera degradación del suelo y alteración de los ecosistemas (Akpomie et al., 2025). Asimismo, se requiere un elevado consumo energético, con una alta dependencia de combustibles fósiles (Xie et al., 2025). En particular, el uso de carbón (375 millones t/año) en hornos de ladrillos contribuye con 675 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (Xin et al., 2023). Lo anterior evidencia la necesidad de implementar estrategias de descarbonización que reduzcan el impacto ambiental de este sector.

En este contexto, el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) permite evaluar las cargas ambientales asociadas a las etapas del sistema productivo, que incluyen la extracción de materias primas, la fabricación, el transporte, el uso y la disposición final. Esta metodología ofrece información relevante sobre el desempeño ambiental de los materiales de construcción, lo cual permite a las partes interesadas identificar los puntos críticos del sistema, tomar decisiones fundamentadas y promover la implementación de estrategias sostenibles (Barbhuiya & Das, 2023). En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo estimar la huella de carbono de la fabricación de ladrillos de arcilla empleando un enfoque de ciclo de vida.

Para este estudio, la unidad funcional (UF) seleccionada fue 1 kg de ladrillo cocido, ubicada en el municipio de Puerto Tejada, Cauca. Se consideraron las etapas comprendidas desde la extracción de materias primas hasta la fabricación del producto cocido; se excluyeron el uso del producto en obra y su disposición final. Por lo tanto, el análisis se limitó al ciclo desde la cuna hasta la puerta. Para realizar el inventario lo más fiel posible a la realidad, se utilizaron datos específicos sobre el proceso de producción del ladrillo. Los datos primarios incluyeron: consumo de materias primas (arcilla y arena), consumo energético, consumo de combustibles fósiles (carbón), medios de transporte y distancias. Se emplearon datos secundarios provenientes de la literatura científica, como el consumo de diésel y aceites lubricantes. El modelado se realizó empleando el software libre OpenLCA (v2.5.0 GreenDelta), la base de datos Ecoinvent v3.4 y se seleccionó el método ReCiPe 2016 v 2.8.0.

Los resultados revelaron una huella de carbono de 0,197 kgCO<sub>2</sub>/UF. Este valor se encuentra por debajo de lo reportado en la literatura para un horno tipo túnel (0,297 kg CO<sub>2</sub>eq/kg) ubicado en Bogotá; esta diferencia puede estar condicionada a los consumos energéticos y a la escala de producción. Además, se identificó que los procesos de secado y cocción son las etapas más críticas del sistema, contribuyendo con el 80% de la huella de carbono total, debido al uso de combustibles fósiles (carbón mineral). A partir de la huella





de carbono calculada en este estudio, se estimó que las emisiones asociadas a la producción regional de ladrillo cocido mediante hornos túnel en el Cauca serían de 256 ktCO<sub>2</sub>eq/año.

Por otra parte, se planteó un escenario alternativo en el que la etapa de secado artificial fue sustituido por el secado natural. Para la etapa de secado se requiere 0,017 kg de carbón/kg ladrillo, representando el 47% del consumo total del combustible utilizado en el sistema de estudio. Los resultados mostraron que la huella de carbono puede reducirse en un 38%. Sin embargo, este beneficio ambiental representa un reto operativo, ya que la eficiencia del secado puede verse influenciada por la variabilidad climática y largos periodos de tiempo. En un escenario propuesto, la implementación de ambas tecnologías permitiría reducir la dependencia de combustibles fósiles.

La estimación de la huella de carbono del ladrillo de arcilla proporciona una línea base para que, en el futuro, se establezcan estrategias de descarbonización en el sector. Es importante que, para futuras investigaciones, se integren nuevas categorías de impacto con el fin de evaluar el perfil ambiental de este material de construcción.

## Referencias

Akpomie, K. G., Malloum, A., Akpotu, S. O., Adegoke, K. A., Okeke, E. S., Omotola, E. O., Ohoro, C. R., Amaku, J. F., Conradie, J., & Olisah, C. (2025). Effect of biomass-based additives on the thermal, physical, and mechanical properties of fired clay bricks: A review. *International Journal of Thermophysics*, 46(1), 5. <https://doi.org/10.1007/s10765-024-03476-3>

Barbhuiya, S., & Das, B. B. (2023). Life Cycle Assessment of construction materials: Methodologies, applications and future directions for sustainable decision-making. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02326. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02326>

S'habou, R., Boukhili, A., Ellouze, A., & Tounsi, H. (2025). Optimization of fired clay brick manufacturing using mixture design: Application to Zaghuan clays, Tunisia. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 10(6), 5517-5533. <https://doi.org/10.1007/s41207-025-00889-w>

Xie, A., Wu, W., & Zhou, Q. (2025). Biochar as a sustainable additive in fired clay bricks and building blocks: Processing, properties, and performance. *Construction and Building Materials*, 493, 143267. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.143267>

Xin, Y., Robert, D., Mohajerani, A., Tran, P., & Pramanik, B. K. (2023). Utilizing rejected contaminants from the paper recycling process in fired clay brick production. *Construction and Building Materials*, 409, 134031. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134031>



## INNOVACIÓN INDUSTRIAL, TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA Y SOSTENIBILIDAD TERRITORIAL – ITST



# Trazabilidad de Huellas Ambientales mediante IoT-Nube: Normalización de Indicadores y Mitigación de Sesgos bajo Estándares ISO 14064 e ISO 14046.

Adriana María Flórez Laiseca<sup>a</sup>, Paola Andrea Loaiza Trejos<sup>b</sup>

<sup>a</sup> [amflores@uniquindio.edu.co](mailto:amflores@uniquindio.edu.co), Universidad del Quindío, Armenia

<sup>b</sup> [paloaiza@uniquindio.edu.co](mailto:paloaiza@uniquindio.edu.co), Universidad del Quindío, Armenia

**Palabras clave:** IoT, gases efecto invernadero, cambio climático, huella de carbono, huella hídrica.

## Resumen:

La crisis climática contemporánea y los compromisos adquiridos en la Agenda 2030 exigen que las organizaciones trasciendan la retórica de la sostenibilidad hacia una cuantificación técnica y verificable de su desempeño ambiental. En este contexto, la medición de la Huella de Carbono y la Huella Hídrica se erigen como pilares fundamentales para la competitividad empresarial y la mitigación de impactos. Sin embargo, la credibilidad de estos reportes se ha visto comprometida por inconsistencias en la captura manual de datos y el uso de facturaciones promediadas que ocultan la realidad operativa. Esta investigación sostiene que la integración de tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) y métodos de normalización estadística es la única ruta viable para garantizar la trazabilidad y reducir los sesgos en la gestión ambiental corporativa. La complejidad de evaluar simultáneamente la calidad del aire interior ( $\text{CO}_2$  en ppm), el consumo hídrico ( $m^3$ ) y el consumo energético (kWh) radica en la incompatibilidad de sus escalas físicas. Sin una transformación previa, los valores de energía eclipsarían el aporte del agua, derivando en un diagnóstico sesgado. Por tanto, se aplicó una normalización min-max (0-1) que permite colocar todas las métricas en una escala común, facilitando la identificación objetiva de "hot-spots" o puntos críticos de intervención. Complementariamente, el uso de modelos de Random Forest permitió cuantificar que factores ambientales como la temperatura y la humedad dominan la varianza del  $\text{CO}_2$  en sectores como salud y turismo, sugiriendo que la gestión ambiental no debe ser aislada, sino sistémica. Los resultados muestran diferencias significativas de  $e\text{CO}_2$  ( $F \approx 7,21$ ;  $p \approx 0,00076$ ), mayor variabilidad en turismo y picos  $>2.000$  ppm. Planto y la Clínica Odontológica concentran  $\sim 47\%$  del agua y dos empresas absorben  $44\%$  de la electricidad, configurando "hot-spots". Se propone automatizar captura con IoT de bajo costo y centralización en nube, apoyada por estudio de factibilidad para masificación.

Tabla 1: Desempeño Sectorial y Variabilidad del  $e\text{CO}_2$

| Sector         | Media (ppm) | Desv. Típica ( $\sigma$ ) | Picos Máximos |
|----------------|-------------|---------------------------|---------------|
| Turismo        | 426         | 74                        | $> 2.000$ ppm |
| Agroindustrial | 423         | 62                        | 1.644 ppm     |
| Salud          | 413         | 30                        | 965 ppm       |

Nota: Elaboración propia de los autores

En cuanto al consumo de recursos, la concentración de impactos es alarmante: solo dos organizaciones absorben el  $44\%$  de la electricidad total y el  $47\%$  del agua. Esta asimetría refuerza el argumento de que la política pública y las estrategias empresariales deben priorizar acciones basadas en la intensidad de carbono-energía capturada en tiempo real.



Tabla 2: Índice Integrado de Intensidad Ambiental por Empresa

| Empresa            | Índice<br>Agua (0-1) | Índice<br>eCO <sub>2</sub> (0-1) | Índice<br>Luz (0-1) | Lectura<br>Integrada                                                               |
|--------------------|----------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Planto             | 1,00                 | 1,00                             | 0,58                | Hot-spot<br>principal; procesos<br>electro-intensivos e<br>hídricos.               |
| C.<br>Odontológica | 0,75                 | 0,28                             | 1,00                | Alta huella<br>absoluta por<br>autoclaves y HVAC;<br>ventilación<br>controlada.    |
| Hotel Coclí        | 0,17                 | 0,93                             | 0,33                | Alta<br>concentración de<br>eCO <sub>2</sub> y huella<br>indirecta media-<br>alta. |

Nota: Elaboración propia de los autores

La investigación concluye que la sostenibilidad no es una meta estática, sino un proceso de gestión basado en datos. La implementación de tecnología IoT de bajo costo y la normalización de indicadores permiten democratizar el acceso a certificaciones como ISO 14064 e ISO 14046, facilitando que las PYMES identifiquen oportunidades de ahorro operativo —como la reducción de 750 kg eCO<sub>2</sub>/año propuesta para el sector salud— mientras fortalecen su resiliencia climática. En definitiva, la automatización es el catalizador necesario para que la gestión ambiental sea técnica, transparente y masificable

## Referencias

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2013). *Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/5e0a7d7c-98bf-4678-8136-6c34bc9e2ebf/content>

ISO. (2018). *ISO 14046: Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines*. International Organization for Standardization.

ISO. (2019/2020). *ISO 14064 (series): Greenhouse gases — Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals*. International Organization for Standardization.

Naciones Unidas. (2017). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2017*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales.

Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). (2023). *Factores de emisión del Sistema Interconectado Nacional para el año 2023 y revisión enero 2025*. <https://www1.upme.gov.co/siame/Documents/Calculo-FE-del-SIN/Factores de emision SIN 2023.pdf>

World Resources Institute (WRI) & World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). (2004). *The Greenhouse Gas Protocol: A corporate accounting and reporting standard*.



## Influencia del soporte en la estabilidad y el comportamiento cinético de catalizadores RuSnB en la hidrogenación selectiva de oleato de metilo

Maria Amparo Sanchez<sup>a\*</sup>, Maria Ana Vicerich<sup>b</sup>, Franco Nardi<sup>c</sup>, Vanina Mazzieri<sup>d</sup>

<sup>a</sup>asanchez@fiq.unl.edu.ar, Incape, Santa Fe <sup>b</sup>mavicherich@fiq.unl.edu.ar, Incape, Santa Fe <sup>c</sup>fnardi@fiq.unl.edu.ar, Incape, Santa Fe <sup>d</sup>vmazzieri@fiq.unl.edu.ar, Incape, Santa Fe

**Palabras clave:** Desactivación, alcohol oleico, hidrogenación selectiva

### Resumen

En el contexto de procesos más sostenibles, la hidrogenación selectiva de ésteres grasos a alcoholes constituye una ruta atractiva para la valorización de biomasa. Los alcoholes grasos, utilizados en la industria cosmética como aditivos, lubricantes, detergentes e intermediarios (Noweck et al., 2006), pueden obtenerse a partir de fuentes renovables como aceites vegetales, representando una alternativa sustentable a los derivados petroquímicos. En particular, el alcohol oleico es el producto objetivo de esta reacción, por lo que el desarrollo de catalizadores selectivos resulta clave. En este trabajo se evalúa el efecto de la naturaleza del soporte sobre la actividad, selectividad y estabilidad de catalizadores RuSnB en la hidrogenación de oleato de metilo. Se compararon sistemas soportados sobre TiO<sub>2</sub>, de carácter reducible (U. Diebold, 2003), y SiO<sub>2</sub>, de naturaleza no reducible (Anderson, 1975), durante cuatro ciclos consecutivos en condiciones libres de limitaciones difusionales. El estudio se complementó con caracterización fisicoquímica (ICP-OES, TPR y XPS), ensayos de deshidrogenación de ciclohexano como reacción sonda y un análisis cinético basado en constantes de pseudo-primer orden. La Figura 1 muestra que RuSnB/TiO<sub>2</sub> presenta mayor actividad inicial y selectividad hacia alcohol oleico, asociadas a interacciones metal-soporte más intensas. No obstante, este sistema exhibe una desactivación más marcada durante la reutilización, evidenciada por la disminución de conversión y rendimiento a alcoholes. En contraste, RuSnB/SiO<sub>2</sub>, aunque menos activo inicialmente, mantiene mayor estabilidad a lo largo de los ciclos de reacción. El análisis de caracterización vincula estas diferencias con cambios en la composición y el estado superficial de los catalizadores. RuSnB/TiO<sub>2</sub> presenta una pérdida significativa de Ru y Sn, junto con una disminución de especies metálicas y cambios en su entorno electrónico, atribuibles al carácter reducible del soporte, que favorece migración y lixiviación metálica y reduce la accesibilidad de los sitios activos. En contraste, RuSnB/SiO<sub>2</sub> muestra variaciones más moderadas y una mayor preservación de los sitios catalíticos.

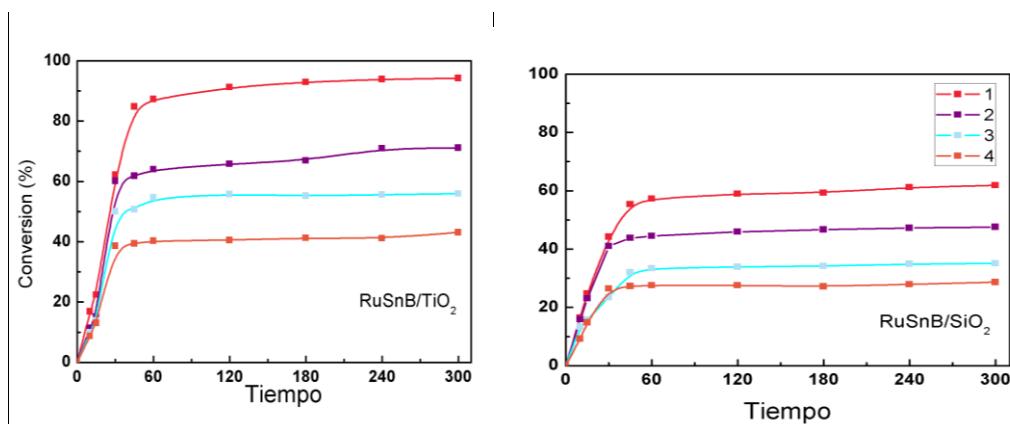


Figura 1. Conversión de oleato de metilo en función del tiempo para las cuatro experiencias sucesivas





Desde el punto de vista cinético (Tabla 1), se observa que la constante asociada a la hidrogenación del grupo carbonilo disminuye rápidamente en el sistema RuSnB/TiO<sub>2</sub>, en concordancia con la pérdida progresiva de actividad hacia la formación de alcohol oleico. En el caso de RuSnB/SiO<sub>2</sub>, esta disminución ocurre principalmente en el primer ciclo y luego se estabiliza, reflejando una mayor robustez del sistema.

**Tabla 1.** Constantes cinéticas de Pseudo Primer orden ( $k_{C=O}$  and  $k_{C=C}$ ) estimadas con el modelo de Pseudo Primer orden.

|                                                                  |               | RuSnB/TiO <sub>2</sub>      |                             | RuSnB/SiO <sub>2</sub>      |                             |
|------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                                                                  |               | C=O                         | C=C                         | C=O                         | C=C                         |
| <b>Cosntante cinética de Pseudoprimer orden [s<sup>-1</sup>]</b> | <b>Test 1</b> | <b>3.83×10<sup>-5</sup></b> | <b>1.42×10<sup>-4</sup></b> | <b>1.70×10<sup>-6</sup></b> | <b>7.21×10<sup>-5</sup></b> |
|                                                                  | <b>Test 2</b> | <b>8.61×10<sup>-6</sup></b> | <b>7.70×10<sup>-5</sup></b> | <b>1.05×10<sup>-6</sup></b> | <b>5.05×10<sup>-5</sup></b> |
|                                                                  | <b>Test 3</b> | <b>4.64×10<sup>-6</sup></b> | <b>5.73×10<sup>-5</sup></b> | <b>1.27×10<sup>-6</sup></b> | <b>3.36×10<sup>-5</sup></b> |
|                                                                  | <b>Test 4</b> | <b>3.13×10<sup>-6</sup></b> | <b>4.13×10<sup>-5</sup></b> | <b>1.48×10<sup>-6</sup></b> | <b>2.96×10<sup>-5</sup></b> |

Los resultados demuestran que la reducibilidad del soporte desempeña un papel clave en la regulación del compromiso entre la actividad inicial y la estabilidad en sistemas RuSnB para la hidrogenación selectiva de oleato de metilo. Los soportes reducibles, como el TiO<sub>2</sub>, pueden promover interacciones metal–soporte que mejoran la actividad, pero también favorecen la lixiviación de metales y una desactivación acelerada de los sitios responsables de la hidrogenación del grupo C=O bajo condiciones de operación repetidas. En contraste, el soporte no reducible SiO<sub>2</sub> preserva la accesibilidad y el entorno electrónico de los sitios activos, proporcionando un desempeño más estable en procesos de hidrogenación selectiva orientados a la producción sostenida de alcohol oleico.

## Referencias

- Anderson, Structure of Metallic Catalysts. Academic Press, 1975. DOI: 10.1126/science.191.4231.1043.a
- Diebold, Surf. Sci. Rep. 48 (2003) 53–229. [https://doi.org/10.1016/S0167-5729\(02\)00100-0](https://doi.org/10.1016/S0167-5729(02)00100-0).
- Noweck, W. Grafahrend, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH, Weinheim, 2006. [https://doi.org/10.1002/14356007.a10\\_277.pub2](https://doi.org/10.1002/14356007.a10_277.pub2)



## EDUCACIÓN, PARTICIPACIÓN SOCIAL Y FORMACIÓN EN SOSTENIBILIDAD – EPSFS



# Estrategias de Educación Ambiental para la Valorización de Aceites de Cocina Usados y Gestión de Residuos Plásticos en el Marco de la Economía Circular.

Silvana R. Matkovic<sup>a\*</sup>, Carla José<sup>a</sup>,

<sup>a</sup> [matkovic@quimica.unlp.edu.ar](mailto:matkovic@quimica.unlp.edu.ar), Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas, Dr. J.J. Ronco (CINDECA-CONICET-CICPBA-UNLP), La Plata, Buenos Aires, Argentina.

**Palabras clave:** educación ambiental, economía circular, reciclaje, valorización

## Resumen

La gestión inadecuada de residuos, particularmente aceites de cocina usados y materiales plásticos, constituye una problemática ambiental relevante debido a sus efectos negativos sobre ecosistemas, recursos hídricos y sistemas urbanos. En este contexto, la educación ambiental se posiciona como una herramienta importante para promover prácticas sostenibles y favorecer la transición hacia modelos basados en la economía circular (Parlamento Europeo, 2023).

El presente trabajo propone una estrategia integral de educación ambiental, basada en experiencias de extensión universitaria, divulgación científica y relevamiento en territorio. La propuesta se estructura en dos ejes: la valorización de aceites de cocina usados y la gestión sustentable de residuos plásticos, integrados bajo un enfoque de aprendizaje participativo y transferencia de conocimientos.

En relación con la valorización de aceites de cocina usados, en una primera etapa, se incorporaron herramientas de diagnóstico, mediante una encuesta dirigida a comedores comunitarios y universitarios, con el objetivo de relevar prácticas de uso, reutilización y disposición final del aceite de cocina. Estos instrumentos permitieron identificar problemáticas específicas, tales como la reutilización prolongada del aceite y su disposición inadecuada, generando información clave para el diseño de estrategias educativas contextualizadas cuyos resultados fueron publicados en el trabajo denominado: “Encuesta como instrumento en el relevamiento del uso y descarte del aceite comestible en comedores estudiantiles a fin de ser utilizado en la síntesis de biocombustibles” (Hamet et al., 2018). Desde el 2018 se participa anualmente en las Jornadas de Divulgación Científica para Escuelas Primarias organizada por CONICET, así como de la Semana de la Ciencia y la Tecnología (MinCyT) entre otras actividades organizadas por instituciones académicas y científicas. En las mismas se implementan los talleres orientados a la sensibilización sobre el impacto ambiental del descarte inadecuado del aceite de cocina usado, y la revalorización del mismo, permitiendo introducir en distintos ámbitos temáticas como reciclaje, recuperación y economía circular (Matkovic, 2024).

En base a la experiencia obtenida en territorio, se trabaja en la ampliación de las herramientas educativas abordando la gestión sustentable de residuos plásticos. Se diseñó una propuesta



dinámica realizando preguntas que inviten a los participantes a reconocer la problemática y reflexionar al respecto. Las actividades permiten comprender la persistencia de los plásticos en el ambiente y su impacto global, así como fomentar prácticas responsables de consumo y disposición final. La metodología promueve la reflexión crítica y la apropiación del conocimiento (Matkovic & José, 2026).

Ambos ejes se articulan bajo el paradigma de la economía circular, que propone la reducción, reutilización y reciclaje de materiales para minimizar la generación de residuos y optimizar el uso de recursos (Parlamento Europeo, 2023). En este marco, la educación ambiental se orienta no solo a la concientización, sino también a la acción, promoviendo cambios de comportamiento sostenibles en distintos actores sociales.

Los resultados obtenidos en los talleres implementados han contribuido a la concientización de los participantes al respecto de la problemática, por lo cual se espera que las nuevas herramientas diseñadas contribuyan a la educación ambiental y se consolide como un eje para la concientización; promoviendo la participación activa de la sociedad y convocando tanto a estudiantes de distintos niveles como al público general. El trabajo presentado genera pertenencia frente a la problemática, involucra al receptor como parte activa de la solución, genera el incremento de la concientización ambiental y la mejora en las prácticas de gestión de residuos.

## Referencias

Parlamento Europeo. (2023). *Economía circular: Definición, importancia y beneficios*. <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20151201STO05603/economia-circular>

Hamet, F., Zupi, G. A., Gómez Goas, E. D., Matkovic, S. R. (2018). *Encuesta como instrumento en el relevamiento del uso y descarte del aceite comestible en comedores estudiantiles a fin de ser utilizado en la síntesis de biocombustibles*. En *Conclusiones de las VI Jornadas de Extensión de MERCOSUR: I Coloquio Regional de la Reforma Universitaria*. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/126799>.

Matkovic, S. R. (2024). Propuesta y desarrollo de un taller para el reciclado y la revalorización de aceite de cocina usado en frituras en las Actas del XII Nacionales y X Internacionales JEQUST2024; B5.18.(704-709) ISBN 978-987-47159-9-9  
<https://www.aqa.org.ar/images/EducacionQuimica/JEQUST2024.pdf>

Matkovic, S. R., José, C. (2026). *Divulgación científica para la acción ambiental: Taller sobre problemática, reconocimiento, clasificación y reciclaje de plásticos*. En *Libro de resúmenes del VI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental: Argentina y Ambiente 2025* (p. 383)  
<https://congresoargentinayambiente.org/>.



# POTENCIAL DE IMPLEMENTACIÓN DE BIODIGESTORES ANAEROBIOS PARA EL ABASTECIMIENTO DE BIOGÁS EN EL RESGUARDO NAZARETH DEL MUNICIPIO DE LETICIA AMAZONAS

\***Nicolas Muñoz Urrego<sup>a</sup>, Arturo Gómez Insuasti<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonia, Leticia ([nmunozu@unal.edu.co](mailto:nmunozu@unal.edu.co))

<sup>b</sup> Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonia, Leticia ([asgomezi@unal.edu.co](mailto:asgomezi@unal.edu.co))

**Palabras clave:** valorización energética, biodigestión anaerobia, biomasa residual, resguardo Nazareth, pobreza energética

## Resumen:

En el departamento del Amazonas, la pobreza energética afecta al 49,4 % de la población, situándolo en el quintil de mayor vulnerabilidad en Colombia (Inclusión SAS & PROMIGAS, 2025). En el Resguardo Nazareth, la dependencia de la leña como principal combustible genera graves riesgos de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, afectando desproporcionadamente a mujeres y niños. Esta situación se agrava por el alto costo del Gas Licuado de Petróleo (GLP), que en la región alcanza los \$97.200 por cilindro de 30 libras, frente al promedio nacional de \$75.210.

Ante esta problemática, el biogás se presenta como una alternativa técnica viable dentro de los planes nacionales para sustituir combustibles ineficientes. La investigación empleó un enfoque mixto concurrente, estimando una disponibilidad de 59,5 toneladas de biomasa residual de poda en el área poblada del resguardo, mediante métodos de muestreo por cuadrantes y apreciación visual, según metodología de López Guerrero et al. (2011)

Los análisis de laboratorio determinaron que los sustratos identificados, como el "Pasto de caña", poseen una fracción de Sólidos Volátiles superior al 74 %, indicando un alto potencial metanogénico, según como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Valores obtenidos por variedad para Sólidos Totales (%ST), Sólidos Volátiles (%SV) y contenido de cenizas o Sólidos Finos (%SF).

| Variedad | Nombre común                     | Humedad % | % ST (bh) | % SV (bs) | % SF (bs) |
|----------|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| V1       | Pasto de Caña                    | 74,9      | 25,1      | 89,4      | 10,59     |
| V2       | Panizo o Pasto de otoño          | 60,0      | 40,0      | 80,8      | 19,2      |
| V3       | Culantrillo salvaje o Celaginela | 48,2      | 51,8      | 91,8      | 8,24      |
| V4       | Sin identificar                  | 52,0      | 48,0      | 85,3      | 14,73     |
| V5       | Gramalote                        | 55,3      | 44,7      | 74,0      | 26,01     |
| V6       | Panizo o Pasto de otoño          | 52,1      | 47,9      | 85,5      | 14,51     |

*Nota: fuente de datos propia; bh es base húmeda y bs es base seca.*





El potencial de generación estimado asciende a 7308 m<sup>3</sup> de metano para la biomasa de poda y 11 m<sup>3</sup>/día para los residuos orgánicos domésticos (Pizarro Loaiza, 2021; UNAL & TECSOL, 2018)

En el ámbito sociocultural, aunque existe una disposición del 94 % de los hogares para adoptar la tecnología, el bajo ingreso promedio de las familias y la falta de acceso a créditos financieros constituyen la principal barrera para su implementación (Zelaya Benavidez & Peredo Mancilla, 2023)

Se concluye que, si bien existen condiciones técnicas y humanas favorables, se requieren modelos de inversión o proyectos piloto para garantizar la apropiación social de los biodigestores (Zelaya Benavidez & Peredo Mancilla, 2023)

## Referencias

Inclusión SAS & PROMIGAS. (2025). Análisis del Índice Multidimensional de Pobreza Energética (IMPE) (Reporte No. 3). Fundación PROMIGAS.

López Guerrero, I., Fontenot, J. P., & García Peniche, T. B. (2011). Comparaciones entre cuatro métodos de estimación de biomasa en praderas de festuca alta. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 2(2), 209–220.

Mamani-Linares, L. W., & Cayo-Rojas, F. (2021). Evaluación de la producción, composición botánica y contenido nutricional de pastos nativos en dos épocas del año en altiplano. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 8(2), 59–72.

UNAL & TECSOL. (2018). Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento. Universidad Nacional de Colombia y Centro de Desarrollo Industrial.

Zelaya Benavidez, E. A., & Peredo Mancilla, D. (2023). Factores que influyen en la adopción de biodigestores de pequeña escala en zonas rurales: Una revisión. *RedBioLAC*, (7), 20–27.

