

MEMORIAS

I SIMPOSIO NACIONAL EN VALORIZACIÓN DE RESIDUOS

I SINAVAR 2025

ISSN: 3115- 0403 (En línea)



Facultad de Minas

Universidad Nacional de Colombia

18-19 de septiembre

Modalidad Presencial

Luz Marina Ocampo Carmona y Laura Sofía Benavides Maya

Compiladores



Convenio



I Simposio Nacional en valorización de Residuos - I SINAVAR 2025 Modalidad Presencial: Memorias, Número 1

© 2025, Universidad Nacional de Colombia, Medellín
Facultad de Minas

© 2025, Luz Marina Ocampo Carmona, Laura Sofia Benavides Maya, Compiladores

© Varios autores

ISSN: 3115- 0403 (En línea)

Memorias: 1

Periodicidad: bianual

ORGANIZADOR

Red de Valorización de Residuos - REDVAR, Universidad Nacional de Colombia,

COMITÉ CIENTÍFICO Y 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

Dra. Janneth Torres Agredo, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira

Dra. Angela Adriana Ruiz Colorado, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín

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

Dra. Elizabeth Carvajal Flórez, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín

Dr. Fabio Alexander Suárez, Faro Tecnológico

Dr. Luis Octavio González Salcedo, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira

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

Dra. Luz Dinora Vera Acevedo, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín

Dra. Maurin Salamanca Guzmán, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín

Dra Edith Cadena Chamorro, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Luz Marina Ocampo Carmona

lmocampo@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2025



Índice

Prólogo	8
Presentación	10
Objetivos: general y específicos	11
Comité Científico y Organizador	12
Agradecimientos	19
Programa Resumido	20
Información sobre plenarios, presentaciones y póster	22
Programa Extendido	24
Conferencistas invitados	34
TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: GESTIÓN DE RESIDUOS (GESRE)	38
GESRE-01: Propuesta de un esquema organizativo para la gestión integral de residuos plásticos en San Andrés de Tumaco: un enfoque hacia la economía circular	38
GESRE-02 Aprovechamiento de neumáticos para la obtención de materiales carbonosos y su evaluación en la degradación del colorante Azul 21 mediante carbocatálisis	40
TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: EDUCACIÓN AMBIENTAL (EDAM)	42
EDAM-01: Educación y economía circular para enfrentar la contaminación plástica en Tumaco: un enfoque desde el territorio	42
EDAM-02: Acuerdos de voluntades como mecanismos de autogestión ambiental. Caso San Andrés de Tumaco, Nariño	44
TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: VALORIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (VRESOR)	46
VRESOR-01: Síntesis y caracterización de carbón activado a partir de residuos derivados del aceite de palma	46





VRESOR-02: Reconocimiento de las actividades agrícolas del departamento del Cesar, y su contribución en la generación de biomasa con potencial uso en el desarrollo de biomateriales	48
VRESOR-03: Uso de biobasados y microalgas en la inmovilización de Cadmio en suelos agrícolas y su efecto en la nutrición mineral de plantas	50
VRESOR-04: Biopolímeros obtenidos de subproductos de aguacate Hass y de <i>Hedychium coronarium</i>	52
VRESOR-05: Biorrefinería conceptual para la obtención de almidón mediante residuos de semilla de aguacate	54
VRESOR-06: Aprovechamiento integral de residuos de plantas aromáticas para la producción de biopolímeros: desarrollo de macroesferas adsorbentes para la biorremediación de colorantes industriales a partir de tallos de <i>Lippia alba</i>	56
VRESOR-07: Análisis del fraguado de pastas de cemento elaboradas con cenizas de cáscara de papa, semilla de aguacate y hojarasca	58
VRESOR-08: Transformación del bagazo de caña mediante carbonización hidrotérmica para la remoción de contaminantes	60
VRESOR-10: Utilización de residuos agroindustriales de <i>Mangifera Indica</i> y <i>Theobroma Cacao</i> para la formulación de un biomaterial	62
VRESOR-12: Biocarbones ambientalmente sostenibles para mitigación de las emisiones de SOx en combustibles líquidos	64
VRESOR-13: Extracción de Papaína del látex de la <i>Carica papaya</i> mediante Sistemas Bifásicos Acuáticos asistida por ultrasonido	67
VRESOR-14: Síntesis de materiales carbonosos a partir de cáscara de cacao y orina para la remoción de acetaminofén en agua	69
VRESOR-16: Valorización de cáscaras de naranja para la extracción de limoneno y preparación de carbón activado como soporte de catalizadores	71
VRESOR-17: Modelamiento del proceso de hidrólisis enzimática de residuos agrícolas de plátano (<i>Musa spp.</i>) y cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>)	73
VRESOR-18: Hidrogel a base de almidón extraído de subproductos de aguacate y <i>Hedychium coronarium</i> para la encapsulación y liberación controlada de nutrientes	76





VRESOR-20: Aplicación de pretratamientos enzimáticos y de ultrasonido para la extracción de cafeína con CO ₂ supercrítico en pulpa de café	78
VRESOR-22: Síntesis y caracterización de solventes eutécticos profundos a base de cafeína: aprovechamiento de residuos agroindustriales del café	80
VRESOR-23: Producción de biocarbón a partir de cascarilla de arroz mediante carbonización hidrotermal	82
VRESOR-24: Evaluación de la capacidad antifúngica de aceites esenciales, vegetal y emulsiones formuladas para el control de antracnosis postcosecha en mango (<i>Mangifera indica</i> L. cv. Keitt) en el departamento del Cesar	84
VRESOR-27: Valorización de residuos de hojas de guayaba como fitobiótico en dietas de pollos de engorde: Un enfoque de economía circular	86
VRESOR-28: Influencia del pH y la temperatura en la remoción del colorante rojo reactivo 195 utilizando tusa de maíz como adsorbente	88
VRESOR-29: Aprovechamiento biotecnológico de la tusa de maíz como matriz agrícola para la producción de enzimas ligninolíticas	90
VRESOR-30: Caracterización de subproductos de la agroindustria del Chocó como fuentes promisorias de materias primas para la alimentación de la tilapia (<i>Oreochromis sp.</i>)	92
VRESOR-31: Cuantificación de polifenoles utilizando herramientas de quimiometría en subproductos de la cadena productiva del cacao	94
VRESOR-32: Obtención de biomoléculas a partir de la cascarilla de cacao: una estrategia de valorización de subproductos	96
VRESOR-33: Valorización de subproductos camaroneros para la obtención de quitosano con aplicaciones alimentarias	100
VRESOR-34: Uso de solventes eutécticos profundos (DES) en el aprovechamiento de subproductos de la industria camaronesa	102
VRESOR-35: Obtención de nanopartículas de quitosano, a partir de subproductos de camarón del caribe colombiano	104
VRESOR-36: Aprovechamiento y valorización de los residuos de la cadena serícola Colombiana	106



VRESOR-37: Elaboración de panqueques con harina de tusa	108
VRESOR-38: Síntesis y caracterización de un biocarbón a partir de cascarilla de café para el tratamiento de aguas residuales	110
VRESOR-39: Subproductos de la cadena productiva del camarón como materia prima para la obtención de proteínas con potencial uso alimentario	112
VRESOR-40: Obtención de productos gaseosos con potencial para el sector energético a partir de la pirólisis del bagazo de caña de azúcar asistida con ilmenita	114
VRESOR-41: Obtención de fibras de celulosa a partir de residuos de pseudotallo para su aplicación como material de refuerzo en la industria papelera	116
VRESOR-42: Materiales carbonosos tipo grafeno obtenidos a partir de residuos forestales mediante pirólisis catalítica con $K_3[Fe(CN)_6]$ como catalizador y activador	118
TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE DEMOLICIÓN Y CONSTRUCCIÓN (VRCD)	120
VRCD-05: Avance del trabajo: Aprovechamiento de finos residuales provenientes de cantera como reemplazo parcial del agregado fino en mortero de revoque y su efecto en la resistencia y respuesta al intemperismo acelerado	120
TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS (VALER)	122
VALER-01: Valorización energética de biomasa residual mediante biodigestores anaerobios en el resguardo Nazareth del municipio de Leticia	122
VALER-02: Obtención de transportadores sólidos de oxígeno basados en níquel soportado en bauxita mediante diferentes tratamientos físico-químicos para la producción de hidrógeno a partir de Chemical Looping Reforming de metano	124
VALER-03: Valorización de los componentes de las baterías de ion litio desechadas en la síntesis catalizadores activos en la reacción water gas shift (WGS)	127
TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: VALORIZACIÓN DE RESIDUOS POLIMÉRICOS (VRESPOL)	130
VRESPOL-01: Caracterización de aceites pirolíticos obtenidos de residuos de posconsumo de llantas y poliestireno expandido (EPS)	130



TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: CIENCIA DE DATOS EN VALORIZACIÓN DE RESIDUOS (CDVR) 133

CDVR-01: Contaminantes emergentes y el agua: conexión invisible entre fuentes, riesgos y oportunidades de valorización 133

TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PARA EL DESARROLLO DE NUEVOS MATERIALES (VARMAT) 135

VARMAT-01: Una aproximación experimental al aprovechamiento del raquis de banano colombiano (*Musa spp.*, variedad *Gros Michel*) como fuente de fibra vegetal para refuerzo de materiales 135

VARMAT-02: Caracterización de un residuo generado en una industria transformadora de vidrio 137

VARMAT-03: Exploración de la valorización de cenizas de fondo de carbón en Colombia: Estudio de caso en ladrilleras 139

VARMAT-04: Caracterización de los sedimentos generados en el proceso de potabilización y su potencial de aprovechamiento en alternativas de economía circular 141

VARMAT-06: Estudio comparativo en la determinación del área superficial en fase gaseosa y líquida de biocarbones y carbones activados derivados de residuos del sector agrícola 143

VARMAT-07: Tratamientos con HNO₃ y oxígeno diluido para la funcionalización de residuos de coque como soporte catalítico: estudio comparativo y combinado 145

VARMAT-08: Valorización de baterías alcalinas para la obtención de óxidos de manganeso 148

VARMAT-10: Aprovechamiento de un residuo de café para la elaboración de un biomaterial 150

VARMAT-11: Cenizas de Residuos Sólidos Urbanos como material de construcción: implementación en sitio para pavimento rígido y prefabricados de concreto en San Andrés Islas 153

VARMAT-12: Valorización de residuos de glicerol mediante carbonilación con urea empleando ZnO derivados de baterías recicladas 155

VARMAT-13: Obtención de biopolímeros a partir de cáscara de huevo y almidón de yuca 157



VARMAT-14: Valorización de lodos arcillosos de cantera para la producción de materiales geopoliméricos: una estrategia de economía circular en la construcción	159
TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (VRAEE)	161
VRAEE-01: Evaluación del potencial tóxico de esmaltes cerámicos con incorporación de metales recuperados de fuentes secundarias	161
VRAEE-02: Vitrificación de un residuo rico en cobalto y evaluación de su potencial como material cerámico mediante ensayos de lixiviación	163
VRAEE-03: Inertización del Níquel y otros metales de residuos posconsumo en vidrios aprovechables en cerámica tradicional	165
VRAEE-04: Reducción Pirometalúrgica de Polvos Catódicos de Baterías Ion-Litio desechadas: Avances con Carbono y Exploración de Nuevos Reductores	167
VRAEE-05: Extracción de metales del cátodo de Baterías Ion – Litio gastadas mediante tecnología de ultrasonido focalizado	169
TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE RESIDUOS MINEROS Y DE ORIGEN METÁLICO (VREMOM)	171
VREMOM-01: Síntesis y Caracterización del Nanocomposito IONP - CQD como Adsorbente de Metales Pesados para la Remediación de Aguas Simuladas	171
VREMOM-02: Resultados preliminares del estudio de residuos de coque con potencial aplicación como soporte	173
TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: ECONOMÍA CIRCULAR, ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA, SOSTENIBILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA (ECACV)	175
ECACV-01: Retos y oportunidades para la economía circular en la industria del cuero: caso de estudio Cueros Vélez.	175
ECACV-03: Midiendo ciudades sostenibles: Armenia, Pereira y Manizales bajo la lupa del ODS 11	177
ECACV-04: Aprovechamiento de residuos del café para la extracción de cafeína: hacia el desarrollo de una bebida energizante funcional a partir de cáscara de café	180

Convenio



FACULTAD DE MINAS, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE MEDELLIN



PRÓLOGO

El **I Simposio Nacional en Valorización de Residuos – I SINAVAR 2025**, realizado los días 18 y 19 de septiembre en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, se constituye en un espacio académico y científico para el intercambio de experiencias y avances en torno a la gestión y valorización de residuos.

Este encuentro, liderado por la **Red de Valorización de Residuos – REDVAR**, reunió a investigadores, estudiantes, profesionales y representantes de distintos sectores, con el propósito de promover la transición hacia una economía circular y sostenible en el país.

Las memorias que aquí se presentan recopilan las contribuciones de conferencistas invitados, así como los resultados de investigación expuestos en modalidad oral y póster. Su publicación busca fortalecer la generación y divulgación de conocimiento interdisciplinario, aportando a la solución de problemáticas locales, nacionales y globales relacionadas con el manejo integral de residuos.

El programa académico del Simposio se organizó en torno a **líneas temáticas** estratégicas, que reflejan la diversidad de enfoques y retos actuales:

- Gestión de Residuos (GESRE)
- Educación ambiental (EDAM)
- Valorización de Residuos orgánicos (VRESOR)
- valorización de Residuos de Demolición y Construcción (VRCD)
- Valorización de Residuos Poliméricos (VRESPOL)
- Valorización energética de residuos (VALER)
- Valorización de residuos para el desarrollo de nuevos materiales (VARMAT)
- Valorización de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (VRAEE)
- Valorización de Residuos de mineros y de origen metálico (VREMOM)
- Ciencia de datos en la Valorización de residuos (CDVR)
- Economía circular, Análisis de Ciclo de Vida, Sostenibilidad técnica y financiera (ECACV)

El Comité Organizador agradece a todos los participantes y colaboradores por su compromiso en hacer posible este primer encuentro, convencidos de que constituye un paso fundamental hacia la consolidación de una comunidad nacional en valorización de residuos.



PRESENTACIÓN

Con enorme entusiasmo y sentido de responsabilidad les damos la bienvenida al **I Simposio Nacional en Valorización de Residuos (I SINAVAR 2025)**. Este espacio nace como una plataforma de diálogo, aprendizaje e inspiración en torno a una de las apuestas más urgentes y transformadoras de nuestro tiempo: **el aprovechamiento inteligente y sostenible de los residuos**.

Vivimos un momento crucial de la historia, una época en la que los modelos de producción y consumo deben ser repensados desde la raíz. En ese contexto, **valorar los residuos** no es solo un acto técnico o académico: es una decisión ética, una apuesta por la innovación y un compromiso con la vida.

Este Primer Simposio Nacional no es sólo un evento, es un **punto de partida**, un llamado a generar redes, a unir voluntades, talentos y saberes en torno a la construcción de soluciones sostenibles, justas y replicables con relación a la valorización de residuos.

Nos convoca la idea de que cada tipo de residuos puede valorizarse y transformarse. Que detrás de cada residuo existe un **potencial oculto**: energía, materiales, productos de valor agregado, entre otros. Lo que antes se descartaba, hoy puede ser materia prima para otro proceso o un insumo para la innovación, la bioeconomía, la generación de conocimiento, o incluso la justicia ambiental.

Por eso, queremos extender una invitación especial a los estudiantes, semilleros y jóvenes investigadores de pregrado y posgrado que vienen trabajando, a menudo en silencio, en sus laboratorios, talleres o comunidades. Este Simposio está pensado para que **comparten sus avances, resultados, metodologías, prototipos o ideas en construcción**. No importa si están en una etapa exploratoria o avanzada: toda experiencia aporta, toda iniciativa cuenta, toda propuesta merece ser escuchada.

La valorización de residuos es una causa común que se construye desde múltiples disciplinas y perspectivas. Por eso, abrimos este Simposio a una **diversidad de líneas temáticas**. Si trabajas con residuos, este Simposio **es también tu escenario**. Este Primer Simposio Nacional es un acto de confianza. Confianza en que la ciencia puede ser un motor de transformación. Confianza en que el conocimiento, cuando se comparte, se multiplica. Y confianza en que ustedes, quienes están investigando, experimentando y proponiendo nuevas formas de mirar los residuos, **están construyendo el futuro que necesitamos**.

Lo que hoy presentamos aquí no es el final, sino el comienzo de un movimiento, porque valorar los residuos es también valorar la vida, la creatividad y la posibilidad de un mundo mejor.

Bienvenidas y bienvenidos al **Primer Simposio Nacional en Valorización de Residuos - SINAVAR 2025**.



OBJETIVO GENERAL

- Promover un espacio académico y científico de alto nivel que favorezca el intercambio de conocimientos, experiencias y avances en torno a la valorización de residuos, bajo los principios de la economía circular.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Facilitar escenarios de reflexión, aprendizaje e interacción entre estudiantes orientados a fortalecer la investigación y la proyección social en torno a los desafíos ambientales y energéticos actuales.
- Impulsar el diálogo interdisciplinario y la divulgación de resultados de investigación, proyectos en curso y propuestas de valorización de residuos.
- Fomentar la formación de redes de cooperación académica, científica y tecnológica a nivel nacional, que contribuyan a la consolidación de alianzas estratégicas para la generación conjunta de conocimiento y soluciones innovadoras.
- Establecer vínculos efectivos entre los diferentes actores académicos que permitan en un futuro la transmisión y transferencia de conocimiento y tecnología, así como el desarrollo de soluciones sostenibles que respondan a necesidades reales del entorno.
- Propiciar la apropiación social del conocimiento mediante espacios de intercambio y construcción colectiva que visibilicen el papel de la ciencia en la transformación social, ambiental y económica.
- Generar un espacio para el desarrollo de un WorkShop con el fin de establecer alianzas estratégicas entre estas entidades que permita aprovechar la experiencia académica y la investigación científica para desarrollar soluciones innovadoras y propuestas acertadas que respondan a las necesidades específicas de las empresas y promuevan la mejora continua en sus procesos.
- Fortalecer las relaciones entre los diferentes grupos de investigación nacionales e internacionales y propiciar la formación de redes de colaboración
- Fomentar el desarrollo de investigaciones multidisciplinarias.

ORGANIZADORES: Red de Valorización de Residuos – REDVAR

MODALIDAD: Presencial 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.



Convenio



COMITÉ CIENTÍFICO Y ORGANIZADOR





Presidente



Directora



Directora

Dra. LUZ MARINA OCAMPO CARMONA.
Universidad Nacional de Colombia, Medellín

Líneas de investigación:

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





Directora Grupo en Catálisis Ambiental y Energías Renovables

Dra. ALBA NELLY ARDILA ARIAS
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín

Líneas de investigación:

- Valorización energética de biomasa y residuos.
- Manejo, aprovechamiento y reutilización de aguas residuales.
- Degradación fotocatalítica de contaminantes hídricos y emergentes.
- Adsorción de metales pesados y colorantes
- Evaluación de materiales catalíticos bimetálicos





Dra. LEIDY HOYOS GIRALDO
Tecnológico de Antioquia, Medellín



Integrante Grupo de Investigación Ciencias Básicas Aplicadas (CBATA)

líneas de investigación:


- Materiales porosos
- Valorización de residuos poliméricos,
- Soportes para celdas de combustible,
- Energías renovables.
- Fotocatálisis y adsorción.
- Valorización de residuos agroindustriales.
- Materiales Carbonosos,
- 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:

- Química ambiental
- Nuevos procesos en energías alternativas.
Producción de hidrógeno,
- Química analítica,
- Caracterización fisicoquímica de compuestos químicos y de materiales carbonosos,
- Comportamiento de catalizadores zeolíticos para la producción de gasolinas
- 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:

- Valorización de residuos lignocelulósicos y subproductos industriales para la obtención de materiales carbonosos, biocarbones y adsorbentes avanzados, orientados al aprovechamiento sostenible de recursos y la mitigación de impactos ambientales.
- 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

Directora del laboratorio de Ciencias Ambientales y de la tierra.

Líder de la Estrategia Campus sostenible de la Facultad.

Integrante del Grupo Oplítica y

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:

- Fermentaciones microbianas y cinéticas de crecimiento.
- Aprovechamiento de residuos agroindustriales para bioprocesos.
- Diseño y optimización de biorreactores.
- Sostenibilidad en procesos biotecnológicos.



Dra. LUZ DINORA VERA ACEVEDO
 Universidad Nacional de Colombia, Medellín

Integrante del grupo Economía y Medio ambiente-GEYMA.
 Docencia en áreas de gestión ambiental, responsabilidad social empresarial y gestión humana.
 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:

- Biomineralogía
- Biohidrometalurgia
- Biogeotecnología
- Mineralogía Aplicada
- Geometalurgia
- Geocatálisis
- Caracterización de Materiales
- Geoarqueología y Arqueometría
- Materiales Cerámicos



Dra. MAURIN SALAMANCA GUZMÁN
Universidad Nacional de Colombia, Medellín



CIENCIA DE MATERIALES AVANZADOS

Integrante

Líneas de investigación:

Transformación de diferentes materias primas que permitan la síntesis de materiales nanoestructurados y compuestos con aplicaciones en áreas tales como ambiente y energía.

Procesos de formación de contaminantes atmosféricos a partir de diferentes de combustibles.



Dra. JANNETH TORRES AGREDO
Universidad Nacional de Colombia, Palmira



Líneas de Investigación:

uso de materiales alternativos al cemento Portland, aprovechamiento de residuos industriales,

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.



Convenio



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

Al comité organizador y científico por el apoyo dado en cada una de las etapas de la organización del I Simposio Nacional en Valorización de Residuos (I SINAVAR-2025).

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 65428) por el apoyo financiero dado para la organización del Simposio.

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



Convenio



I Simposio Nacional en Valorización de Residuos (I SINAVAR-2025) "Transformando el residuo en oportunidad"

18 a 19 de septiembre de 2025 - Modalidad Presencial
Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín



PROGRAMA RESUMIDO

DÍA 1: JUEVES 18 DE SEPTIEMBRE	
hora	Actividad
7:00 - 8:00	Entrega de Escarapelas
8:00 - 8:15	Acto de Inauguración
8:15 - 9:00	Plenaria 1
9:00 - 9:15	ECACV-02
9:15 - 9:30	ECACV-03
9:30 - 9:45	ECACV-04
9:45 - 10:00	CDVR-01
10:00 - 10:15	VRAEE-01
10:15 - 10:30	Refrigerio 1
10:30 - 11:15	Plenaria 2
11:15 - 11:30	VRESPOL-01
11:30 - 11:45	VARMAT-02
11:45 - 12:00	VARMAT-06
12:00 - 12:15	VARMAT-07

DÍA 2: VIERNES 19 DE SEPTIEMBRE	
Hora	Actividad
7:30 - 8:00	Entrega de Escarapelas
8:00 - 8:45	Plenaria 4
8:45 - 9:00	VRESOR-22
9:00 - 9:15	VRESOR-08
9:15 - 9:30	VRESOR-12
9:30 - 9:45	VRESOR-18
9:45 - 10:00	VRESOR-05
10:00 - 10:15	VRESOR-24
10:15 - 10:30	Refrigerio 3
10:30 - 11:15	Plenaria 5
11:15 - 11:30	VRESOR-26
11:30 - 11:45	VRESOR-27
11:45 - 12:00	VRESOR-32
12:00 - 12:15	VRESOR-38



Convenio



12:15-12:30	VARMAT-12
12:30 – 14:00	Almuerzo
14:00 - 14:45	Plenaria 3
14:45 -15:00	VALER-01
15:00 -15:15	VALER-02
15:15 -15:30	VALER-03
15:30 – 17:00	<p>SESIÓN DE PÓSTER 1 ECACV-01, EDAM-01, EDAM-02, GESRE-01, VARMAT-01, VARMAT-03, VARMAT-04, VARMAT-08, VARMAT-09, VARMAT-10, VARMAT-11, VARMAT-13, VARMAT-14, VRAEE-02, VRAEE-03, VRAEE-04, VRAEE-05, VRCD-03, VRCD-04 VRCD-05, VREMOM-01, VREMOM-02, GESRE-02,</p>

12:15 - 12:30	VRESOR-40
12:30 – 14:00	Almuerzo
14:00 - 14:45	Plenaria 6
14:45-14:30	VRESOR-20
14:30-14:45	VRESOR-42
14.45 – 16:45	<p>SESIÓN DE POSTER 2 VRESOR-01, VRESOR-02, VRESOR-03, VRESOR-04, VRESOR-06, VRESOR-07, VRESOR-09, VRESOR-10, VRESOR-13, VRESOR-14, VRESOR-16, VRESOR-17, VRESOR-21, VRESOR-23, VRESOR-28, VRESOR-29, VRESOR-30, VRESOR-31, VRESOR-33, VRESOR-34, VRESOR-35, VRESOR-36, VRESOR-37, VRESOR-39, VRESOR-41</p>
16:45- 17:00	Acto de Clausura



INFORMACIÓN SOBRE PLENARIAS, PRESENTACIONES Y PÓSTER

Para las presentaciones y plenarios, 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 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.

Líneas Temáticas

GESRE: Gestión de Residuos;

EDAM: Educación ambiental;

VRESOR: Valorización de Residuos orgánicos

VRCD: Valorización de Residuos de Demolición y Construcción;

VALER: Valorización energética de residuos;

VRESPOL: Valorización de Residuos Poliméricos;

CDVR: Ciencia de datos en la Valorización de residuos;

VARMAT: Valorización de residuos para el desarrollo de nuevos materiales;

VRAEE: Valorización de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos;

VREMOM: Valorización de Residuos de mineros y de origen metálico;

ECACV: Economía circular, Análisis de Ciclo de Vida, Sostenibilidad técnica y financiera;

PLENARISTAS NACIONALES INVITADOS





Convenio



1. **Dr. Jose Guadalupe Rutiaga Quiñones.** Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México. Algunas experiencias en bicomcombustibles sólidos densificados.,
2. **Dra. Janneth Torres Agredo.** Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Aprovechamiento de un residuo generado en una industria ladrillera ubica en el Valle del Cauca: estudio de caso
3. **Dra. Yazmin Yaneth Agamez Pertuz.** Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá Residuos con Propósito: Biochar para el Manejo Sostenible del Agua.
4. **Dr. Arturo Samuel Gómez Insuasti.** Universidad Nacional de Colombia, sede Amazonas Ciencia de la sostenibilidad”.
5. **Dr. Diego Camilo Durán García.** Universidad Nacional de Colombia, sede La Paz Bioprospección, brioprocesos y bioproductos de la región Criba de Colombia con un enfoque de aprovechamiento integral y valorización de residuos agroindustriales
6. **Profesor Oscar Eduardo Suárez Moreno.** Universidad Nacional de Colombia, sede Orinoquia. Articulación de acciones de producción y manejo de residuales. Caso sede Orinoquia con foco en economía circular.

Página Web del Evento:

<https://minas.medellin.unal.edu.co/gruposdeinvestigacion/redvar/index.php>

Mayor información: redvar_med@unal.edu.co

Cualquier pregunta o comentario no dude en comunicarlo.

Atentamente,

Comité Organizador I SINA VAR-2025



PROGRAMA EXTENDIDO

JUEVES 18 DE SEPTIEMBRE		
7:00 - 8:00 Entrega de Escarapelas		
8:00 - 8:15 Acto de Inauguración		
Hora	Código	Trabajo
8:15 - 9:00	Plenaria 1	Algunas experiencias en bicomcombustibles sólidos densificados. José Guadalupe Rutiaga-Quiñones, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México.
9:00 - 9:15	ECACV-02	Producción de biochar a partir de biosólidos: un enfoque a la economía circular para la mejora de la generación de metano y la valorización de residuos. José Luis Gullos Vivares, Melisa Salas Giraldo, Loraines Ovalle Mola, Sofía Villegas Ramírez, Andrea Tamayo Londoño, Juan David Correa. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín
9:15 - 9:30	ECACV-03	Midiendo ciudades sostenibles: Armenia, Pereira y Manizales bajo la lupa del ODS 11. Sebastián Vallejo Aguirre, Lorena Villegas Muñoz. Corporación Universitaria Empresarial Alexander von Humboldt, Armenia.
9:30 - 9:45	ECACV-04	Aprovechamiento de residuos del café para la extracción de cafeína: hacia el desarrollo de una bebida energizante funcional a partir de cáscara de café. Camilo Villazón Villazón, Andrés Jiménez Ascanio, Mónica Sandoval Rincón, Diego Durán García. Universidad Nacional de Colombia Sede de La Paz.
9:45 - 10:00	CDVR-01	Contaminantes emergentes y el agua: conexión invisible entre fuentes, riesgos y oportunidades de valorización. Francisco José Valencia Alaix, Ángela Adriana Ruiz-Colorado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín
10:00 - 10:15	VRAEE-01	Análisis de la toxicidad de cerámicas que incorporan manganeso y zinc provenientes de fuentes secundarias. Sergio Lozano Melo, Karen Dayana Salas, Pedro Delvasto, Nadia Mayerly Ardila. Universidad Industrial de Santander.
10:15 - 10:30 Refrigerio 1		

10:30 - 11:15	Plenaria 2	Aprovechamiento de un residuo generado en una industria ladrillera ubicada en el Valle del Cauca: estudio de caso. Dra. Janneth Torres Agredo . Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.
11:15 -11:30	VRESPOL-01	Caracterización de aceites pirolíticos obtenidos de residuos de posconsumo de llantas y poliestireno expandido (EPS) . Eliana Berrio Mesa, Alba Nelly Ardila Aria, Luz Marina Ocampo Carmona. Politécnico Jaime Isaza Cadavid - Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
11:30 -11:45	VARMAT-02	Caracterización de un residuo generado en una industria transformadora de vidrio . Carolina Bedoya Muñoz, Luisa Fernanda Mosquera Idrobo, Janneth Torres Agredo. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.
11:45 - 12:00	VARMAT-06	Estudio comparativo en la determinación del área superficial en fase gaseosa y líquida de biocarbones y carbones activados derivados de residuos del sector agrícola . Juan Esteban Ramírez Vanegas. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá
12:00-12:15	VARMAT-07	Tratamientos con HNO₃ y oxígeno diluido para la funcionalización de residuos de coque como soporte catalítico: estudio comparativo y combinado . Julieta A. Rubio, Andrés M. Hernández, Eduard R. Romero, Yazmín Agámez. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.
12:15-12:30	VARMAT-12	Valorización de residuos de glicerol mediante carbonilación con urea empleando ZnO derivados de baterías recicladas . Misael Cordoba Arroyo, Madelain Linero Diaz, Erasmo Arriola-Villaseñor, Pedro Delvasto, Alba N. Ardila A. Politécnico Colombiano Jaime Izasa Cadavid, Medellín.
12:30 – 14:00 Almuerzo		
14:00 - 14:45	Plenaria 3	Residuos con Propósito: Biochar para el Manejo Sostenible del Agua. Dra. Yazmin Yaneth Agamez Pertuz . Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá
14:45-15:00	VALER-01	Valorización energética de biomasa residual mediante biodigestores anaerobios en el resguardo Nazareth del municipio de Leticia . Nicolas Muñoz Urrego. Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonia, Leticia.

15:00 -15:15	VALER-02	Obtención de transportadores sólidos de oxígeno basados en níquel soportado en bauxita mediante diferentes tratamientos físico-químicos para la producción de hidrógeno a partir de Chemical Looping Reforming de metano. Alba Nelly Ardila Arias, Juan David Valencia González, Erasmo Arriola-Villaseñor. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín.
15:15 -15:30	VALER-03	Valorización de los componentes de las baterías de ion litio desechadas en la síntesis de catalizadores activos en la reacción water gas shift (WGS). Erasmo Arriola-Villaseñor, Santiago Alexander. Betancur, Alba Nelly Ardila Arias, Melissa Arango Arias, Luz M. Ocampo-Carmona. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.
15:30 – 17:00 PRESENTACIÓN DE PÓSTERS		
ECACV-01		Retos y oportunidades para la economía circular en la industria del cuero: caso de estudio Cueros Vélez. Alba María Contreras Medina, Laura Carvajal Muñoz, Paula Prada Culma, Andrea Tamayo Londoño. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín.
EDAM-01		Educación y economía circular para enfrentar la contaminación plástica en Tumaco: un enfoque desde el territorio. Dayana Salazar Mesa, Alejandro Ramírez Orozco, Elizabeth Carvajal Flórez. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
EDAM-02		Acuerdos de voluntades como mecanismos de autogestión ambiental. Caso San Andrés de Tumaco, Nariño. Daniel Fernando Castro Álvarez, Hanna Lucieth Bohorquez Alzate, Alejandro Ramírez Orozco, Elizabeth Carvajal Flórez. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
GESRE-01		Propuesta de un esquema organizativo para la gestión integral de residuos plásticos en San Andrés de Tumaco: un enfoque hacia la economía circular. Sebastián Calero Angulo, Carlos Alberto Zarate Yepes, Hanna Lucieth Bohórquez Alzate. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
VARMAT-01		Una aproximación experimental al aprovechamiento del raquis de banano colombiano (Musa spp., variedad Gros Michel) como fuente de fibra vegetal para refuerzo de materiales. Angie Daniela Molina-Jiménez, Pedro Vanegas-Mahecha, Luis Octavio González-Salcedo. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.
VARMAT-03		Exploración de la valorización de cenizas de fondo de carbón en Colombia: Estudio de caso en ladrilleras. Luisa Fernanda Mosquera Idrobo, Carolina Bedoya Muñoz, Janneth Torres Agredo. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.

VARMAT-04	Caracterización de los sedimentos generados en el proceso de potabilización y su potencial de aprovechamiento en alternativas de economía circular. Eliana Llano, Sara Muñoz, Rodolfo Mira. Empresas Públicas de Medellín -EPM-, Medellín.
VARMAT-08	Valorización de baterías alcalinas para la obtención de óxidos de manganeso. Alba N. Ardila A., Melissa Arango Álvarez, Erasmo Arriola V., Santiago Bedoya Betancur, Pedro Luis Delvasto Angarita. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia.
VARMAT-09	Obtención de sílice y celulosa a partir de cascarilla de arroz para el desarrollo de biomateriales biodegradables. Lina Johana Corrales Gonzalez, Daniel Fernando Hincapié Rojas. Universidad de Medellín, Medellín y Universidad Autónoma de Manizales, Manizales.
VARMAT-10	Aprovechamiento de residuo de café para la elaboración de un biomaterial. Andrea Carolina Pizarro Romero, Luis Enrique Ramírez Frances, Nicoletta Almontes Torres, Ximena Gaviria Gómez, Maria Isabel Mejia Correa, Isabella Escobar Barrientos. Universidad de Medellín, Medellín e Instituto Tecnológico Superior de Apatzingán, Apatzingán Michoacán.
VARMAT-11	Cenizas de Residuos Sólidos Urbanos como material de construcción: implementación en sitio para pavimento rígido y prefabricados de concreto en San Andrés Islas. Julián D. Carmona-Ramírez, Francisco D. Cabrera-Poloché, Carlos A. Bedoya-Henao, Isabella Taborda-Llano, Gustavo A. Viana-Casas, Óscar J. Restrepo-Baena, Jorge I. Tobón. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
VARMAT-13	Obtención de biopolímeros a partir de cáscara de huevo y almidón de yuca. Julián Carmona Madrigal, Lina Corrales González, Juan Diego Marín Madrigal, Ximena Gaviria Gómez y María Isabel Mejía Correa. Universidad de Medellín, Medellín, Instituto Tecnológico Superior de Apatzingán, México.
VARMAT-14	Valorización de lodos arcillosos de cantera para la producción de materiales geopoliméricos: una estrategia de economía circular en la construcción. Eliana Llano, Ricardo Rosas, Kelly Patiño, Gloria Restrepo. Universidad de Antioquia, Medellín.
VRAEE-02	Vitrificación de un residuo rico en cobalto y evaluación de su potencial como material cerámico mediante ensayos de lixiviación. Paula Valentina Solano Acevedo, Kevin Yesid Rodríguez Duarte, Pedro Luis Delvasto Angarita, Nadia Mayerly Ardila Santamaría. Universidad Industrial de Santander.
VRAEE-03	Inertización del Níquel y otros metales de residuos posconsumo en vidrios aprovechables en cerámica tradicional. Juan Camilo Reyes, Juan Manuel Malagón, Pedro Delvasto, Nadia Ardila. Universidad Industrial de Santander.

VRAEE-04	Reducción Pirometalúrgica de Polvos Catódicos de Baterías Ion-Litio desechadas: Avances con Carbono y Exploración de Nuevos Reductores ". Iván Santiago González Oliveros, Juan David Céspedes Páez, Pedro Luis Delvasto, Nadia Mayerly Ardila. Universidad Industrial de Santander.
VRAEE-05	Extracción de metales del cátodo de Baterías Ion – Litio gastadas mediante tecnología de ultrasonido focalizado. Santiago Bedoya Betancur, Erasmo Arriola-Villaseñor, Alba N. Ardila Arias, Luz M. Ocampo Carmona. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid - Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
VRCD-03	Evaluación de suelos mejorados con residuos de demolición y construcción reforzados con sistemas de confinamiento celular con neumáticos en desuso para el mejoramiento estructural de subrasantes viales. Mario Hernández, Melissa Parra, César Hidalgo, Gloria Carvajal. Universidad de Medellín, Medellín.
VRCD-04	Valorización de residuos de construcción y demolición, y ceniza de bagazo de caña en la preparación de bloques de hormigón. Sihara Madera Miranda, Luisa Moreno Ramírez., Oscar Arbeláez Perez, Universidad Cooperativa de Colombia, Medellín.
VRCD-05	Avance del trabajo: Aprovechamiento de finos residuales provenientes de cantera como reemplazo parcial del agregado fino en mortero de revoque y su efecto en la resistencia y respuesta al intemperismo acelerado. Jonatan Arboleda, Eliana Llano, Gloria Restrepo, Universidad de Antioquia, Medellín
VREMOM-01	Síntesis y Caracterización del Nanocomposito IONP - CQD como Adsorbente de Metales Pesados para la Remediación de Aguas Simuladas. Ioseph Castro Martínez. Daniel Llamosa, Javier Rincón. Universidad Antonio Nariño, Bogotá.
VREMOM-02	Resultados preliminares del estudio de residuos de coque con potencial aplicación como soporte. Andrés M. Hernández, Julieta A. Rubio, Eduard Romero-Malagón, Yazmin Agamez-Pertuz. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
GESRE-02	Aprovechamiento de neumáticos para la obtención de materiales carbonosos y su evaluación en la degradación del colorante Azul 21 mediante carbocatálisis. Alba N. Ardila Arias, Luis Alfredo Ruiz Zapata, Madelyn Ortiz Quiceno, Erasmo Arriola-Villaseñor, Víctor Manuel Galindo Acosta. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín.

VIERNES 19 DE SEPTIEMBRE		
Hora	Código	Trabajo
7:00 - 8:00 Entrega de Escarapelas		
8:00 - 8:45	Plenaria 4	Ciencia de la sostenibilidad. Dr. Arturo Samuel Gómez Insuasti. Universidad Nacional de Colombia, sede Amazonas
8:45 - 9:00	VRESOR-22	Síntesis y caracterización de solventes eutécticos profundos a base de cafeína: aprovechamiento de residuos agroindustriales del café. Manuel Felipe Torres-Perdomo, Luz M. Ocampo-Carmona, Yazmin Yaneth Agámez-Pertuz, Eduard Ricardo Romero Malagón. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín y Bogotá.
9:00 - 9:15	VRESOR-08	Transformación del bagazo de caña mediante carbonización hidrotermal para la remoción de contaminantes. Yurtley Fernanda Enríquez Cueltan, Jonathan Urrea Monsalve, Angie Valentina Pérez Núñez, Elizabeth Pabón, Maurin Salamanca Guzmán. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Medellín
9:15 - 9:30	VRESOR-12	Biocarbones ambientalmente sostenibles para mitigación de las emisiones de SOx en combustibles líquidos. Luigi Merchán Suárez, Yazmin Agámez-Pertuz, Eduard Romero Malagón. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
9:30 - 9:45	VRESOR-18	Hidrogel a base de almidón extraído de subproductos de aguacate y <i>Hedychium coronarium</i> para la encapsulación y liberación controlada de nutrientes. Paola Andrea Díaz Gómez, Daniel Alberto Sánchez, Juan Carlos Caicedo, Aída Luz Villa. Universidad de Antioquia, Medellín.
9:45 - 10:00	VRESOR-05	Biorrefinería conceptual para la obtención de almidón mediante residuos de semilla de aguacate. Jacobo Vásquez-Tamayo, Rolando Barrera-Zapata, Sandra Liliana Herrera- Zapata. Universidad de Antioquia, Medellín.
10:00 -10:15	VRESOR-24	Evaluación de la capacidad antifúngica de ingredientes naturales y formulaciones, como estrategia para fortalecer las prácticas agrícolas sostenibles postcosecha en productores de mango en el Departamento del Cesar. María Fernanda Núñez Sierra, Diego Camilo Durán García. Universidad Nacional de Colombia - Sede de La Paz.

10:15 - 10:30 Refrigerio		
10:30 – 11:15	Plenaria 5	Bioprospección, brioprocesos y bioproductos de la región Criebe de Colombia con un enfoque de aprovechamiento integral y valorización de residuos agroindustriales. Dr. Diego Camilo Durán García. Universidad Nacional de Colombia, sede La Paz.
11:15 -11:30	VRESOR-26	Degradación de Sildenafil mediante Fotocatálisis con TiO₂-SiO₂ Derivado de Ceniza de Cáscara de Arroz. Yeison Nicolas Camacho Moreno, Hernández Sepúlveda Luisa Fernanda, Sarmiento Monsalve Jeimy Tatiana. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
11:30 -11:45	VRESOR-27	Valorización de residuos de hojas de guayaba como fitobiótico en dietas de pollos de engorde: Un enfoque de economía circular. Paulina Castro Correa, Luz Estella Vasquez D., Hader Ivan Castaño P., Juan Carlos Blandon M. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín.
11:45 -12:00	VRESOR-32	Obtención de biomoléculas a partir de la cascarilla de cacao: una estrategia de valorización de subproductos. Ana Carolina Rodríguez Negrette, Jorge Andrés Velázquez Cock, Catalina Gómez Hoyos. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.
12.00 - 12:15	VRESOR-38	Síntesis y caracterización de un biocarbón a partir de cascarilla de café para el tratamiento de aguas residuales. Carol Stephany Sierra Forero, Eduard Ricardo Romero Malagon, Luis Carlos Moreno Aldana, Yazmin Yaneth Agamez Pertuz. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
12:15 - 12:30	VRESOR-40	Obtención de productos gaseosos con potencial para el sector energético a partir de la pirólisis del bagazo de caña de azúcar asistida con ilmenita. Jeferson Pinzón Chavarro, Omar Darío Gutiérrez Flórez, Paola Andrea Villegas Bolaños. Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín.
12:30 - 14:00 Almuerzo		
14:00 -14.45	Plenaria 6	Articulación de acciones de producción y manejo de residuales. Caso sede Orinoquia con foco en economía circular. Profesor Oscar Eduardo Suárez Moreno. Universidad Nacional de Colombia, sede Orinoquia.
14:45-14:30	VRESOR-20	Aplicación de pretratamientos enzimáticos y de ultrasonido para la extracción de cafeína con CO ₂ supercrítico en pulpa de café. Juan Diego Torres De La Ossa, Edith Cadena Chamorro, Luz Marina Ocampo Carmona. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

14:30-14:45	VRESOR-42	Materiales carbonosos tipo grafeno obtenidos a partir de residuos forestales mediante pirólisis catalítica con K₃[Fe(CN)₆] como catalizador y activador. Alba N. Ardila A., Erasmo Arriola-Villaseñor, Madelyn Ortiz-Quiceno, Lucas Blandón-Naranjo. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín.
14.45 – 16:45 PRESENTACIÓN DE PÓSTERS		
VRESOR-01		Síntesis y caracterización de carbón activado a partir de residuos derivados del aceite de palma. Luis F. Valencia, Marta Mediavilla, Ainhoa Rubio-Clemente, Aída L. Villa, Osneider Guzmán-Salas. Universidad de Antioquia, Medellín y Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
VRESOR-02		Reconocimiento de las actividades agrícolas del departamento del Cesar, y su contribución en la generación de biomasa con potencial uso en el desarrollo de biomateriales. Anastacio Rafael Serrano Zambrano, Claudia Patricia Tavera Ruiz, Mónica Viviana Sandoval Rincón. Universidad Nacional de Colombia-Sede de La Paz
VRESOR-03		Uso de biobasados y microalgas en la inmovilización de Cadmio en suelos agrícolas y su efecto en la nutrición mineral de plantas. Yefferson Torres Zambrano, Susana Cañola Usuga, Ana María Guzman, Gallo, Andrea Tamayo, Julián Lopez. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín.
VRESOR-04		Biopolímeros obtenidos de subproductos de aguacate Hass y de Hedychium coronarium. Daniela Llano Vélez, Juan Carlos Cuesta, Aída Luz Villa. Universidad de Antioquia, Medellín.
VRESOR-06		Aprovechamiento integral de residuos de plantas aromáticas para la producción de biopolímeros: desarrollo de macroesferas adsorbentes para la biorremediación de colorantes industriales a partir de tallos de <i>Lippia alba</i>. Ballesteros L., Aranzales L., Noriega Y., Martínez E., Durán D. Universidad Nacional de Colombia - Sede de La Paz.
VRESOR-07		Análisis del fraguado de pastas de cemento elaboradas con cenizas de cáscara de papa, semilla de aguacate y hojarasca. Luisa María Ramírez-Arboleda, Sara Castaño-Gil, María Soledad Hernández-Rivera, Juan Diego Jaramillo-Restrepo, Ximena Gaviria Gómez, María Isabel Mejía Correa. Universidad de Medellín, Medellín.
VRESOR-09		Obtención de carbón activado a partir de residuos de corozo (<i>Bactris guineensis</i>) y de maíz (<i>Zea mays linnaeus</i>). Oriana Guerrero, Luisana Ochoa, Karen Sánchez. Universidad Nacional de Colombia Sede de la Paz.
VRESOR-10		Utilización de residuos agroindustriales de <i>Mangifera Indica</i> y <i>Theobroma Cacao</i> para la formulación de un biomaterial. Lilia Inés Castilla Ortega, Claudia Patricia Tavera Ruiz, Mónica Viviana Sandoval Rincón. Universidad Nacional de Colombia-Sede de La Paz, y Universidad de Investigación y Desarrollo, Bucaramanga.

VRESOR-13	Extracción de Papaína del látex de la <i>Carica papaya</i> mediante Sistemas Bifásicos Acuosa asistida por ultrasonido. Uriel José Hernández López, Ángela Adriana Ruiz-Colorado. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
VRESOR-14	Síntesis de materiales carbonosos a partir de cáscara de cacao y orina para la remoción de acetaminofén en agua. Víctor Galindo Acosta, Efraim Serna Galvis, Alba Nelly Ardila. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín y Universidad de Antioquia, Medellín.
VRESOR-16	Preparación de carbón activado como soporte de catalizadores. Lic Amiris Perea Cuesta, Aída Luz Villa. Universidad de Antioquia, Medellín.
VRESOR-17	Modelamiento del proceso de hidrólisis enzimática de residuos agrícolas de plátano (<i>Musa spp.</i>) y cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>). Diego F. Hinojosa Zambrano, A. Adriana Ruíz-Colorado. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
VRESOR-21	Evaluación <i>in vitro</i> del potencial de la actividad prebiótica de la harina de vaina de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>). Valeria Rodríguez Gómez, María Isabel Ruiz Lenis, Julián Pineda Montoya, Susana Ochoa Agudelo. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín.
VRESOR-23	Producción de biocarbón a partir de cascarilla de arroz mediante carbonización hidrotermal. Yulied Rivera Quevedo, Inés Osorio-Giraldo, Leidy Hoyos Giraldo, Kellys Salcedo Hurtado, Sergio Valencia Hurtado. Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria-TdeA, Medellín.
VRESOR-25	Valorización de la cascarilla de café mediante activación química de biocarbón para la retención de óxidos de nitrógeno (NOx). Carlos Alberto Gallego Soto, Alan Alberto Camargo Losada, Jeimy Tatiana Sarmiento Monsalve. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá
VRESOR-28	Influencia del pH y la temperatura en la remoción del colorante rojo reactivo 195 utilizando tusa de maíz como adsorbente. Santiago Carmona Ramírez, Angelina Hormaza Anaguano. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
VRESOR-29	Aprovechamiento biotecnológico de la tusa de maíz como matriz agrícola para la producción de enzimas ligninolíticas. Jose Luis Arias Quinchia, Valentina Agudelo Echeverri, Angelina Hormaz. Universidad Nacional de Colombia, Medellín
VRESOR-30	Caracterización de subproductos de la agroindustria del Chocó como fuentes promisorias de materias primas para la alimentación de la tilapia (<i>Oreochromis sp.</i>). Eduardo, Chavarro-Parra; Carlos, Hincapié; Marisol, Osorio; Gustavo, Hincapié-Llanos; Carolina, Buitrago-Arias; Piedad, Ganán-Rojo. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.

VRESOR-31	Cuantificación de polifenoles utilizando herramientas de quimiometría en subproductos de la cadena productiva del cacao. Nicolás Montoya-Escobar, Catalina Gómez H., Jorge Andrés Velásquez-Cock. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.
VRESOR-33	Valorización de subproductos camareros para la obtención de quitosano con aplicaciones alimentarias. Mariana Ochoa-Castaño, Daniel Felipe Jaramillo Munera, Jorge Andrés Velásquez-Cock, Catalina Gómez Hoyos. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.
VRESOR-34	Uso de solventes eutécticos profundos (DES) en el aprovechamiento de subproductos de la industria camarera. Juan David Montenegro Realpe, Natalia Jaramillo Quiceno, Jorge Andrés Velásquez, Cock, Catalina Gómez Hoyos. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.
VRESOR-35	Obtención de nanopartículas de quitosano, a partir de subproductos de camarón del caribe colombiano. Daniel Felipe Jaramillo Múnera, Mariana Ochoa Castaño, Jorge Andrés Velásquez-Cock, Catalina Gómez Hoyos. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.
VRESOR-36	Aprovechamiento y valorización de los residuos de la cadena serícola colombiana. María Victoria Álvarez-Henao, Julieth Araujo Legarda, Samuel Villa Álvarez, Katherin Trujillo Fernández, María Paula Arroyo Osorio, Luis Javier Cruz Riaño, Patricia Fernández-Morales, Adriana Restrepo-Osorio. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.
VRESOR-37	Elaboración de panqueques con harina de tusa. Oswaldo J. Ochoa Yepes, Jorge Velásquez Cock, Catalina Gómez Hoyos. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.
VRESOR-39	Subproductos de la cadena productiva del camarón como materia prima para la obtención de proteínas con potencial uso alimentario. Natalia Jaramillo-Quiceno, Mariana Ochoa Castaño, Jorge Andrés Velásquez-Cock, Catalina Gómez Hoyos. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.
VRESOR-41	Obtención de fibras de celulosa a partir de residuos de pseudotallo para su aplicación como material de refuerzo en la industria papelera. Alba N. Ardila A., María Camila Moreno, Erasmo Arriola-Villaseñor, Efraín González Villegas, Eduart A. Gutiérrez-Pineda, Cristian C. Villa. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Universidad de Quindío.

16:45- 17:15 ACTO DE CLAUSURA

CONFERENCISTAS INVITADOS

Dr. JOSÉ GUADALUPE RUTIAGA QUIÑONES.

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

Doctor en Ciencias (1997-2001), en la Universidad Técnica de Múnich.

Maestría en Ciencias de Productos Forestales (1995-1997), Universidad de Guadalajara.

Ingeniero en Tecnología de la Madera (1981-1984), por la UMSNH con Especialidad en Celulosa y Papel (1986-1987).

Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) en México.

Como Profesor gestionó el registro del Programa de *Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera* en PIFOP.

Sus intereses en investigación: química, la bioenergía y los productos de madera.

Director de: 6 Tesinas, 35 Tesis de Licenciatura, 34 Tesis de Maestría y 9 Tesis de Doctorado.

Adicionalmente, su principal producción científica se resume en:

- Memorias en congresos nacionales e internacionales: 87
- Presentaciones en congresos nacionales e internacionales: 210
- Publicaciones en revistas nacionales e internacionales con arbitraje: 284
- Proyectos con financiamiento interno y externo: 15



Dra. JANNETH TORRES AGREDO

Profesora Titular en Dedicación Exclusiva, Departamento de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia.

Doctora en Ingeniería con énfasis en Ingeniería de Materiales.

Coordinadora del Grupo de Investigación en Materiales y Medio Ambiente. – GIMMA.

Participación en diversos proyectos de investigación relacionados con el uso de materiales alternativos al cemento Portland, aprovechamiento de residuos industriales, caracterización de residuos ordinarios y peligrosos y economía circular.

Directora de Tesis de pregrado, Maestría y Doctorado en el área de los materiales de ingeniería y la ingeniería ambiental.



Dra. YAZMIN YANETH AGAMEZ PERTUZ



Química, Doctora en Ciencias Química de la Universidad Nacional de Colombia, Profesora Asociada del Departamento de Química a nivel de pregrado, maestría y doctorado con experiencia en investigación sobre química ambiental y nuevos procesos en energías alternativas, producción de hidrógeno, química analítica, caracterización fisicoquímica de compuestos químicos y de materiales carbonosos, comportamiento de catalizadores zeolíticos para la producción de gasolinas y en la investigación de los carbones como fuente de energía eléctrica y productos de alto valor agregado.

Investigadora Senior y Coordinadora del Grupo “Laboratorio de Investigación en Combustibles y Energía” registrado y clasificado como grupo A en Colciencias con el código COL 0012918. He sido docente titular desde 2006 en tres asignaturas del pregrado de química analítica, de energía y combustibles y el Laboratorio Avanzado de Química Industrial y en el posgrado de dos asignaturas relacionadas con los materiales carbonosos y combustibles. Además, he participado en la dirección de 24 trabajos de grado y más de 15 tesis de maestría y de doctorado.

Recibí entrenamiento en el examen técnico de solicitudes de patente de invención nacionales e internacionales relacionadas con los productos y procesos agrícolas, alimenticios, detergentes, catalizadores y polímeros entre otros.

Dr. ARTURO SAMUEL GÓMEZ INSUASTI



Profesor Asistente – Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia
Grupo de Investigación: Gestión Ambiental Territorial e Innovación para el Desarrollo Sostenible (GAMTS)

Semillero: Vínculos Vitales: Alimento, Agua, Energía y Gestión Ambiental

Tecnólogo en Desarrollo Ambiental (2022) e Ingeniero Ambiental (2025) de la Universidad Manuela Beltrán,

Zootecnista de la Universidad de Nariño (1994), con Especialización en Docencia Universitaria de la misma institución

Magíster en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira (2005)

Doctor en Zootecnia de la Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Jaboticabal, Brasil,

Director de la Unidad de Docencia y Formación, 2021-2022

Director del Instituto Amazónico de Investigaciones IMANI, 2023 -2025.

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.



Dr. Diego Camilo Durán García

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



20 años trabajando 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. 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. Como resultado del trabajo investigativo ha participado en la publicación de 23 artículos científicos, un capítulo de libro, la obtención de siete patentes de invención y la divulgación de más de 50 trabajos en eventos científicos nacionales e internacionales.

En la Universidad Nacional de Colombia, en La Sede de La Paz, junto con otros colegas se implementan los métodos para el análisis y caracterización de suelos y aguas, el 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 la valorización de residuos agroindustriales, y en el desarrollo de productos para los sectores cosmético, alimentos y de aseo.

Trabaja en el uso múltiple del suelo, mediante la investigación en sistemas de producción agro-voltaicos, en los cuales se combinan la energía fotovoltaica con cultivos de la región Caribe a partir de los cuales se generen productos con valor agregado, mediante procesos que emplean fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER).

PROFESOR OSCAR EDUARDO SUÁREZ MORENO

Ingeniero Industrial. Especialista UIS - Escuela de Estudios Industriales en: Alta Gerencia, Gerencia de la Producción y el Mejoramiento Continuo. Altos Estudios en: Desarrollo Humano y RURAL Sustentable, Universidad Bolivariana de Chile. Innovaciones en Desarrollo Agrícola y Recursos Hídricos en el Gallilee Collage. Israel. Miembro del grupo de Investigación en Ciencias de a Orinoquía (GICO), líder de la línea Transferencia Tecnológica y Manejo Sostenible.



Productos visibles con impacto social:

- Diseño y puesta en operación de una Planta de producción de insumos orgánicos sólidos y líquidos.
- Agua potable para la sede Orinoquía.
- Métodos de recuperación de aguas residuales para su disposición final.
- Modelos de Economía Circular para región de la Orinoquía; con la sede UN en Arauca como prototipo y Aula viva.
- Aula de Postcosecha con estándares para agregar valor a la producción primaria de la región.
- Diseño y gestión de metodologías para el acceso y diagnóstico con impacto en territorios con fuerte incidencia de situaciones de impacto nacional.
- Granja Experimental el Cairo de la UN, como aula viva y laboratorio de análisis y desarrollo de metodologías con impacto en la producción primaria nacional, nuevas investigaciones y transferencias de nuevos saberes.



TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: GESTION DE RESIDUOS – GESRE

Propuesta de un esquema organizativo para la gestión integral de residuos plásticos en San Andrés de Tumaco: un enfoque hacia la económica circular

Sebastian Calero Angulo^a, Carlos Alberto Zarate Yepes^b, Hanna Lucieth Bohorquez Alzate^c

^a Universidad Nacional de Colombia- Facultad de minas, Medellín

^b Universidad Nacional de Colombia- Facultad de minas, Medellín

^c Universidad Nacional de Colombia- Facultad de minas, Medellín

^a scalero@unal.edu.co

Resumen

San Andrés de Tumaco enfrenta una crítica situación ambiental debido al manejo inadecuado de residuos plásticos, agravada por el crecimiento poblacional, la falta de infraestructura y la recepción constante de residuos marinos de distintos tipos. Esta situación afecta no solo a los ecosistemas costeros y la biodiversidad, sino también la salud pública, el turismo y la calidad de vida de sus habitantes. [1]

Aunque existen iniciativas comunitarias para mitigar el problema, estas no logran articular a los actores clave del territorio (organizaciones sociales, entidades estatales, academia y empresas), lo que impide consolidar una gestión integral de residuos plásticos. En este contexto, se plantea la necesidad de adoptar un enfoque basado en economía circular que permita transformar residuos en recursos y generar oportunidades de desarrollo sostenible, dignificando la labor de los recicladores de oficio y generando un impacto económico en el territorio. [2]

De acuerdo con lo anterior, el objetivo general del trabajo de grado fue: Proponer un esquema organizativo que articule a los actores clave en la gestión de residuos plásticos, mediante un análisis prospectivo, planeación estratégica y evaluación de prefactibilidad de proyectos de negocios, fortaleciendo así la economía circular en Tumaco, por medio de 3 objetivos específicos, que se mencionan a continuación: **Identificar criterios para estructurar el esquema organizativo, diseñar un proceso de planeación estratégica que aborde todas las fases de gestión de residuos y realizar un análisis de prefactibilidad técnica y económica de proyectos bajo criterios de negocios verdes.**

El enfoque metodológico fue mixto (cuantitativo y cualitativo), combinando revisión de la normativa, diagnóstico territorial, análisis documental, talleres participativos, y trabajo de campo. Se analizaron documentos como el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) y el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de Tumaco, decretos claves como el 596/2016 y 1381/2024, y se identificaron más de 30 actores relevantes entre instituciones y organizaciones.

En cuanto a los resultados principales se tiene lo siguiente:

1. Revisión, diagnóstico y comparación del POT (2008-2019), PGIRS (2022-2034), Decreto 596 del 2016 y Decreto 1381 del 2024 con la situación real de San Andrés de Tumaco.
2. Elección de la figura jurídica más adecuada para avanzar de manera estratégica hacia el desarrollo de un esquema organizativo de segundo orden con mayor alcance e impacto.
3. Análisis prospectivo y planeación estratégica. Encaminado a el fortalecimiento de la relación de los actores y las capacidades técnicas en el territorio.



4. Riesgos identificados para la realización de la planeación prospectiva
5. ROADMAP para un horizonte de 24 meses en la ejecución de actividades para el fortalecimiento entre actores, capacidades técnicas y riesgos del proceso.
6. Plan de negocios de una Estación de Clasificación y Aprovechamiento (ECA) regional. Aquí se utilizó una metodología de planes de negocio donde se define el servicio, análisis de involucrados, plan de mercado, análisis de riesgos, lineamientos normativos y plan de implementación.
7. Costos relacionados con los al esquema organizativo de recicladores de oficio.
8. Identificación de oportunidades de mejora por medio de visitas de campo en San Andrés de Tumaco.

Como resultado importante del trabajo de grado se realizó el ROADMAP TUMACO, el cual contiene los planes para el fortalecimiento técnico y de relaciones entre actores para la gestión integral de residuos sólidos en San Andrés de Tumaco, al igual que un análisis de los riesgos en el proceso de planeación:

- Fortalecimiento de relación entre actores
 - Diagnóstico de complementariedad y estrategia de sensibilización y/o educación **(6 meses)**
 - Acuerdo de voluntades **(12 meses)**
 - Proponer programas y/o proyectos en alianzas **(18 meses)**
- Fortalecimiento de capacidades técnicas
 - Diagnostico de porcentaje de aprovechamiento **(12 meses)**
 - Censo de recicladores **(12 meses)**
 - Actualizar rutas **(12 meses)**
 - Mejoras al parque automotor **(18 meses)**
 - Incentivar la adquisición de transporte para las asociaciones de recicladores **(18 meses)**
 - Alianzas de recicladores con aguas de Tumaco **(18 meses)**
 - Decidir quien construye y quien opera la ECA **(24 meses)**
- Riesgos en el proceso de planeación y prospectiva: Se mencionarán en la presentación debido a que son muy largas las descripciones.

Referencias

[1] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). Política Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

[2] World Bank. (2020). The Circular Economy in Latin America and the Caribbean: Opportunities for Sustainable Growth



Aprovechamiento de neumáticos para la obtención de materiales carbonosos y su evaluación en la degradación del colorante Azul 21 mediante carbocatálisis

Alba N. Ardila A.^{a*}, Luis Alfredo Ruiz Zapata^b, Madelyn Ortiz Quiceno^c, Erasmo Arriola-Villaseñor^d, Víctor Manuel Galindo Acosta^e

*a,b,c,d,e. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín. *anardila@elpoli.edu.co*

Resumen

La creciente contaminación de fuentes hídricas con colorantes sintéticos ha impulsado la búsqueda de estrategias sostenibles para la remediación de aguas residuales. En este estudio se exploró la síntesis de catalizadores carbonosos a partir de neumáticos en desuso, con el objetivo de evaluar cómo la amplitud de sonicación y el orden de aplicación del tratamiento ultrasónico (antes o después de la pirólisis) afectan sus propiedades fisicoquímicas y su eficiencia en la degradación del colorante Azul 21 en presencia de peroximonosulfato (PMS). Los neumáticos fueron suministrados por Green Delta S.A.S. y transformados en gránulos de caucho tras procesos mecánicos de corte, separación de acero y fibras, y trituración. Estos gránulos sirvieron como materia prima para la síntesis de los materiales carbonosos. Se diseñaron dos rutas de obtención: (i) pirólisis directa a 500 °C por una hora en atmósfera de nitrógeno y (ii) combinación de pirólisis con sonicación, aplicando el ultrasonido en diferentes secuencias (antes o después de la pirólisis) y a distintas amplitudes (80 % y 100 %). La sonicación previa consistió en la dispersión en agua a 45 °C y tratamiento ultrasónico durante dos horas.

Las caracterizaciones BET mostraron que la sonicación favoreció la formación de materiales más porosos, incrementando significativamente el área superficial y redistribuyendo la porosidad. El material TC-500-SA-80 presentó el mayor valor de área superficial (83.19 m²/g), seguido de TC-500-SA-100 (79.83 m²/g). El volumen de poro varió entre 0.42 y 0.54 cm³/g y el tamaño promedio de poro entre 27.68 y 34.66 nm. Estos cambios se atribuyen a la eliminación de residuos y a la mejora en la accesibilidad de los sitios activos durante el proceso de sonicación. La eficiencia de los materiales en la degradación del Azul 21 se evaluó en tres escenarios: adsorción con el material carbonoso, oxidación directa con PMS y carbocatálisis (material + PMS). El desempeño catalítico se determinó mediante espectrofotometría UV-Vis a 663 nm, analizando la variación de concentración a lo largo de 15 minutos. Se calculó un parámetro de sinergia a los cinco minutos para identificar el efecto combinado entre adsorción y catálisis.



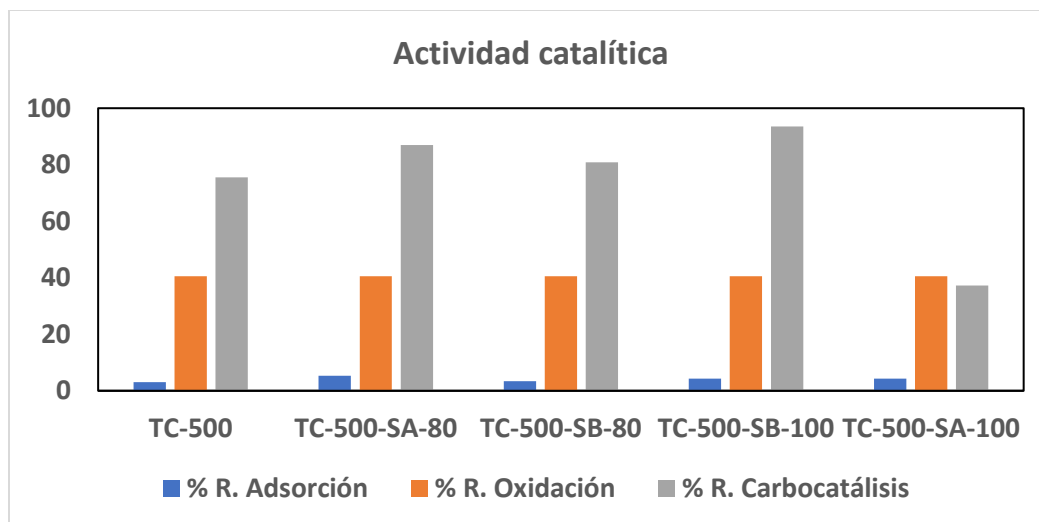


Figura 1. Actividad catalítica.

Los resultados evidenciaron que la mayoría de los materiales presentaron sinergias mayores a 1, lo cual confirma un efecto catalítico positivo al combinar los materiales carbonosos con PMS. El mejor desempeño se observó en el material TC-500-SB-100, correspondiente a sonicación previa a la pirólisis con amplitud del 100 %, que alcanzó un valor de sinergia de 1.74. Este comportamiento se atribuye a la mayor accesibilidad de los sitios activos y a una estructura porosa bien desarrollada que favorece la interacción con el oxidante. Por el contrario, el material TC-500-SA-100 presentó un valor de sinergia de 0.83, lo que indica un efecto antagónico. Este resultado se asocia con posibles colapsos estructurales o bloqueo de sitios activos durante la etapa de sonicación posterior a la pirólisis, que limitan la generación de especies reactivas necesarias para la degradación del colorante.

Palabras clave: neumáticos fuera de uso, materiales carbonosos, carbocatálisis, colorantes.

Referencias

- Quimbaya-Náñez, C., Serna-Galvis, E. A., Silva-Agrede, 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, 112015. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112015>
- Mosquera-Olano, C., Quimbaya, C., López-Pérez, S., Castellón-Castrillón, E., Navarro, S., Rojas, J., Acosta, J., Torres-Palma, R. A., & Ávila-Torres, Y. P. (2025). A method for modifying carbonaceous materials with manganese carbonate to modulate the formation of singlet oxygen via activation with Peroxymonosulfate. *MethodsX*, 14, 103252. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2025.103252>
- Jiang, T., Wang, B., & Wang, S. (2023). Degradation of organic pollutants from water by biochar-assisted advanced oxidation processes: Mechanisms and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 442, 130075. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130075>



TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: EDUCACIÓN AMBIENTAL – EDAM

Educación y economía circular para enfrentar la contaminación plástica en Tumaco: un enfoque desde el territorio

***Dayana Salazar Mesa^a, Alejandro Ramírez orozco^b, Elizabeth Carvajal Flórez^c**

^{a,b,c} *Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*

Email: ^a daysalazarme@unal.edu.co

Palabras Claves: Microplásticos, Economía Circular, Educación Ambiental, Residuos Plástico, Estrategias socioambientales, valorización.

Resumen

La inadecuada gestión de residuos plásticos en San Andrés de Tumaco representa una problemática ambiental y social. El alto volumen de desechos plásticos, sumado a la falta de infraestructura adecuada para su recolección y disposición, ha provocado una contaminación significativa en las zonas costeras, impactando la biodiversidad y la actividad pesquera local [1]. Según el PGIRS 2022-2034, los plásticos representan el 15,85% del total de residuos sólidos generados en el municipio; sin embargo, sólo una fracción es aprovechada debido a la deficiente gestión y a la ausencia de un sistema estructurado de reciclaje [2]. Esta investigación analiza el estado actual de la gestión de residuos plásticos en Tumaco, identificando los principales desafíos, como la falta de conciencia ambiental, las barreras socioculturales y las limitaciones económicas. A partir de este diagnóstico, se proponen estrategias socioambientales para fomentar la reducción de residuos plásticos, mejorar las prácticas de reciclaje e integrar a la comunidad en iniciativas de gestión sostenible. La investigación enfatiza la importancia de la educación ambiental, el fortalecimiento normativo y la mejora de la infraestructura como herramientas clave para mitigar el impacto de la contaminación por plásticos en Tumaco. Se realizaron entrevistas semi estructuradas con miembros de la comunidad de Tumaco para obtener información sobre la gestión de residuos plásticos en la zona. Además, se revisaron documentos clave, como el PGIRS 2022-2034, el Plan Municipal de Educación Ambiental 2022-2032, y otros informes relacionados con la gestión de residuos. Esta revisión documental complementa los datos obtenidos en las entrevistas, fortaleciendo los hallazgos de la investigación.

Como resultado, se proponen dos estrategias socioambientales principales: una estrategia de educación ambiental comunitaria que promueva el cambio de hábitos desde los entornos escolares y barriales, y una estrategia de economía circular basada en la valorización de plásticos reciclables mediante actividades como la transformación en artesanías y materiales de construcción. Estas estrategias buscan generar un cambio en la percepción sobre el reciclaje y la sostenibilidad en la comunidad. La educación ambiental se enfoca en sensibilizar a los residentes, especialmente a los jóvenes, para que comprendan la importancia de reducir y reutilizar los plásticos en su vida cotidiana. Además, se identifican áreas críticas para intervención prioritaria, como las zonas de las playas y zonas palafíticas, donde la acumulación de plásticos afecta directamente a los ecosistemas marinos y a las actividades pesqueras

La playa del Bajito es una de las zonas más afectadas por la acumulación de plásticos y otros desechos. Según un informe de Infobae (2022), la comunidad enfrenta este problema no solo por la falta de infraestructura, sino también por la “cultura ciudadana”, ya que en ocasiones se prefiere tirar las bolsas de



basura y esperar a que el mar las arrastre, en vez de esperar a que pase el carro recolector. Es por ello que estas propuestas buscan integrar a la comunidad en la gestión de residuos, fomentar una cultura ambiental y contribuir a la sostenibilidad local. El estudio evidencia que la solución al problema de los microplásticos debe abordarse desde un enfoque participativo, territorial y educativo.

Tabla 1. Residuos potencialmente aprovechables

Residuos potencialmente aprovechables	Material	Porcentaje (%)
	Plástico	39,17
	Celulosas (Cartón corrugado, papel, etc.)	38,61
	Vidrio	12,01
	Metales	2,52

Fuente: PGIRS 2022 - 2034: (Alcaldía de Tumaco, 2022)

Referencias

- [1] Alcaldía Distrital de Tumaco (2020). Plan de Desarrollo Municipal “Enamórate de Tumaco 2020-2023”.
- [2] Alcaldía Distrital de Tumaco. (2022). Actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio de Tumaco-Nariño (2022-2034). Alcaldía Distrital de Tumaco.
- [3] Alcaldía Distrital de Tumaco. (2022). Plan Municipal de Educación Ambiental 2022-2032. Alcaldía Distrital de Tumaco, Secretaría de Planeación y Desarrollo Urbano.
- [4] Periódico UNAL. (2025). En las playas de Tumaco se acumulan más de 10 kg de plástico al día.
- [5] Florez-Acuña, Z., Oyaga-Martínez, R. F., & Troncoso-Palacio, A. (2023). Una Estrategia Pedagógica Desde la Visión Reflexiva para la Concientización de la Gestión de Residuos Sólidos Plásticos en Comunidades Educativas. BILO, 5(1), 139-148.



Acuerdos de voluntades como mecanismos de autogestión ambiental. Caso San Andrés de Tumaco, Nariño

Daniel Fernando Castro Alvarez^a, Hanna Lucieth Bohorquez Alzate^b, Alejandro Ramírez Orozco^c, Elizabeth Carvajal Flórez^c

^a Estudiante de ciencias políticas, Facultad de Ciencias Humanas y Económicas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín

^b Ing. Amb. Estudiante de Maestría, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín

^c PhD. en Ingeniería, Docente Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín

Email: ^a dcastroal@unal.edu.co

Resumen

La gestión de residuos sólidos, especialmente plásticos, representa una problemática estructural en San Andrés de Tumaco, un distrito marino-costero con alta vulnerabilidad ambiental y social. Esta problemática no es sólo operativa, sino política, de gobernanza y autogestión [1] [2] [3], lo que a su vez genera secuelas que debilitan el tejido social, económico y turístico del territorio. Por medio de revisión de fuentes primarias y secundarias y una salida al territorio, se identificó una desarticulación en las capacidades de gestión ambiental del territorio, lo cual limita la implementación de lineamientos nacionales, departamentales y locales existentes.

Esta baja coordinación manifiesta en los distintos actores territoriales suscritos a los macrogrupos de Institucionalidad (Alcaldía distrital, UGAM, Capitanía de Puerto, CORPONARIÑO, Secretaria de planeación), Sector Privado (PROMAP) y Sociedad Civil (Asociación de Reciclaje Fénix Asorefenix, Fundación Tejido Social Nariñense) permite generar un espacio de discusión dinamizado desde la academia (Universidad Nacional de Colombia, Sedes Tumaco y Medellín) para buscar alternativas que permitan un fortalecimiento en la red de actores con el fin de alcanzar la coordinación para la gestión de los residuos plásticos en Tumaco.

Aquí surge la alternativa de un acuerdo de voluntades, la cual es una herramienta estratégica de gobernanza ambiental mediante la cual una o varias personas, naturales o jurídicas, se obligan a dar, hacer o no hacer algo, sujeto a las normas aplicables, a la naturaleza jurídica de las partes y a las solemnidades que establezca la ley [4].

Con base a esto, se prosigue con la búsqueda de experiencias significativas a través de la revisión documental de instrumentos estratégicos dispuestos por las corporaciones autónomas regionales de Caldas, Quindío, Norte de Santander y Boyacá sobre las propuestas e implementaciones de acuerdos de voluntades en torno a la promoción de gobernanza ambiental. Esto permite considerar las siguientes cinco experiencias a lo largo del territorio nacional que han implementado acuerdos de voluntades:

La reseña de dichos acuerdos permitió a la academia proponer un acuerdo de voluntades que tenga como objetivo la (auto)gestión de los residuos plásticos en el territorio. La estructura del acuerdo comprende de una convocatoria inicial de los actores involucrados y con intención de aportar, una línea base legal e institucional multinivel sobre las consideraciones en torno al tema de la gestión de residuos y el aprovechamiento del mismo, una serie de compromisos específicos para cada actor (o grupo de actores)



proporcionales a sus capacidades, alcances institucionales y fines misionales, unas tareas conjuntas y generales sobre el seguimiento del cumplimiento de las tareas, el desarrollo de la naturaleza jurídica (o la condición obligatoria del acuerdo) y la imposibilidad de derogación de los compromisos convenidos de forma unilateral.

Lugar	Objeto
Aránzazu, Caldas	Acuerdo de voluntades por las buenas prácticas agrícolas y sostenibles del cultivo de aguacate Hass
Quindío	Acuerdo de voluntades por las buenas prácticas ambientales en el cultivo de aguacate
Cúcuta, Norte de Santander	Acuerdo de voluntades para la recuperación de la subzona hidrográfica del río Pamplonita
Boyacá	Acuerdo de voluntades de la plataforma colaborativa para la recuperación de la cuenca del río Cravo Sur
Boyacá	Acuerdo de voluntades de la plataforma colaborativa en la cuenca río Cusiana

Para concluir se contempla que la aplicación de un acuerdo de voluntades permite dotar a los actores, de acuerdo a sus capacidades y fines misionales (que pueden entenderse bajo el concepto de autonomía), una serie de compromisos que se traduce en autogestión. De esta forma se puede lograr que desde las consignas del bien común o cooperativismo se impacte la realidad ambiental y social de Tumaco.

Referencias

- [1] Aguilar, L. (2010). Gobernanza: El nuevo proceso de gobernar.
- [2] Bevir, M. (2013). Governance: A Very Short Introduction.
- [3] García-Cano, V. (2021). GOBERNANZA AMBIENTAL EN LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS VS SERVICIO PÚBLICO DE ASEO EN COLOMBIA.
- [4] Presidencia de la República. (2007). DECRETO 4747 DE 2007.



TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: VALORIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS-VRESOR

Síntesis y caracterización de carbón activado a partir de residuos derivados del aceite de palma

Luis F. Valencia^a, Marta Mediavilla^{a,b*}, Ainhoa Rubio-Clemente^{c,d}, Aída L. Villa^a Osneider Guzmán-Salas^e

^a Grupo Catálisis Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín

^b Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela

^c Grupo de Investigación Energía Alternativa-GEA, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín.

^d Escuela Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín

^e Bioplanta Palmera para el Desarrollo S.A, Chigorodó, Colombia

*Email: qmarta338@gmail.com.

Resumen

En la industria del aceite de palma se obtienen productos con aplicaciones en sectores de alimentos, cosméticos y biocombustibles [1]. Sin embargo, esta actividad también genera residuos agroindustriales tales como raquis, fibra y cuesco. Se estima que en Colombia el 72% de la producción de racimos de frutos frescos del beneficio de la producción de palma aceitera se convierte en biomasa residual; solo en el año 2021, esta cifra representó aproximadamente 5.531.746 ton de residuos, compuestos principalmente por raquis, fibras de palma prensadas, cuesco y efluentes líquidos. Además, en las plantaciones se genera una cantidad significativa de biomasa adicional, producto de las labores de poda, como hojas y troncos de palma. Según estimaciones teóricas, este volumen asciende a 5.706.027 ton anuales, las cuales, en su mayoría, no son aprovechados [2]. En este estudio se utilizaron subproductos de la extrusión de la palma de aceite y de su cultivo con el fin de obtener carbón activado, material poroso que se utiliza ampliamente en procesos de purificación, separación, almacenamiento y catálisis. Para ello, los residuos se secaron en un horno a 90 °C durante 15 h, la biomasa seca (fibra, raquis, tallo y hojas) se molió hasta un tamaño de partícula < 0.6 mm utilizando un molino de bolas de corindón; los residuos del lodo y cuesco se molieron en un molino de martillo. Cada residuo fue tratado con una solución acuosa de hidróxido de potasio (KOH) a temperatura ambiente durante 1 h y luego se secó a 80 °C durante 24 h; posteriormente los sólidos se trataron térmicamente en nitrógeno a 500 °C durante 1 h. Una vez enfriados, se neutralizaron con ácido clorhídrico (HCl) 1 M y finalmente se secaron a 80 °C durante 24 h.

La Figura 1 muestra los espectros infrarrojos para los residuos y para el carbón activado sintetizado. Las señales correspondientes a enlaces C-H de grupos (etilen) CH₂ relacionadas con la estructura química del material lignocelulósico. La señal asignada al enlace C=O corresponde a los grupos acetil y/o ester urónico de hemicelulosa o esteres de lignina. La señal correspondiente al enlace C-O puede ser asignada al anillo piranósido de la celulosa [3], indicando la naturaleza lignocelulósica de los materiales. En la Figura 1b, se observa la disminución en la intensidad de la mayor parte de las señales de los residuos, indicando la ruptura de los enlaces químicos durante el proceso de activación química y carbonización a 500 °C. La presencia de grupos funcionales correspondientes a los enlaces C-H, grupos C=O y C-O podrían actuar como sitios activos para la adsorción de compuestos fenólicos, ácidos grasos, materia orgánica disuelta, compuestos aromáticos y oxigenados (POME) procedentes del proceso de extracción de aceite de palma [4].



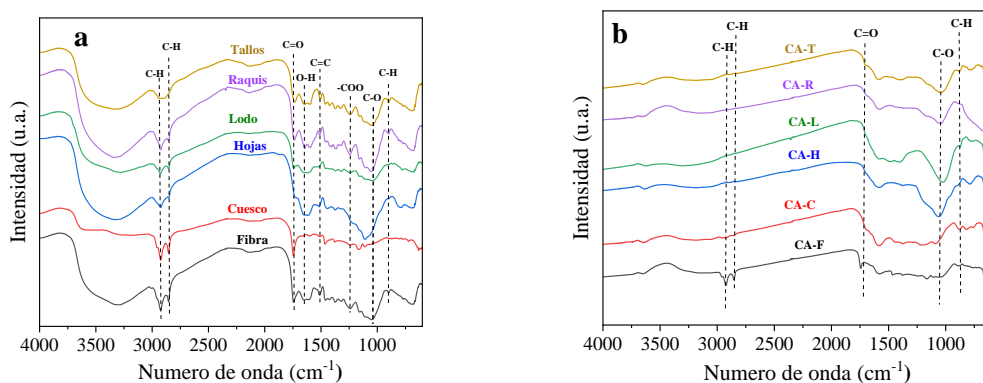


Figura 1. Espectros infrarrojos de subproductos de la palma de aceite (a) y carbón activado sintetizado (b). CA: carbón activado, C: cuesco, F: fibra, H: hojas, L: lodo, R: raquis, T: tallo.

El rendimiento en la síntesis de carbón activado y su área superficial específica BET se presenta en la Tabla 1. Los rendimientos dependen del residuo y se encuentran entre 26 y 43%, mientras que las áreas BET se obtuvieron en el intervalo 142 - 345 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$. El carbón obtenido a partir de fibra presentó la mayor área superficial, mientras que el mayor rendimiento se obtuvo con el carbón proveniente de las hojas. El área superficial específica es moderada en comparación con algunos carbonos activados reportados [5]. Los resultados confirman el potencial de los residuos generados de la extrusión de la palma de aceite y de su cultivo para ser utilizados como materia prima sostenible en la síntesis de materiales adsorbentes con aplicación en el tratamiento de aguas residuales industriales, particularmente en la remoción de materia orgánica, colorantes y compuestos fenólicos presentes en efluentes como el POME.

Tabla 1. Carbón activado de residuos de palma de aceite con KOH

Muestra	Rendimiento (%)	S_{BET}^a ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)
CA-F	26	345
CA-R	27	338
CA-C	29	280
CA-L	26	142
CA-T	30	285
CA-H	43	240

^a S_{BET} : área superficial en un solo punto

Palabras clave: residuos, aceite de palma, fibra, carbón activado.

Referencias

- [1] M.E. Norhaizan, S. Hosseini, S. Gangadaran, S.T. Lee, F.R. Kapourchali, M.H. Moghadasian. *Lipid Technology* 25(2) (2013) 39-42.
- [2] A.L. Vanegas. *Revista Especializada en Tecnología e Ingeniería*, 13(2), 77-90.
- [3] S. Sapawi, A. Ahmad, M. Valeri, N. Azman. *Sustainability* 16(2) (2024) 919-937.
- [4] S.P.D. Kaman, I.A.W. Tan, L.L.P. Lim. En: The 9th International Unimas Stem Engineering Conference (ENCON 2016) "Innovative Solutions for Engineering and Technology Challenge". Sarawak. 2016. 03009.
- [5] Y.M.N.S. Ismail, N.N. Ngadi, N.N. Moha. *Environmental Science and Pollution Research*, 32(15) (2025) 9759-9774.



Reconocimiento de las actividades agrícolas del departamento del Cesar, y su contribución en la generación de biomasa con potencial uso en el desarrollo de biomateriales

Anastacio Rafael Serrano Zambrano^a, Claudia Patricia Tavera Ruiz^b, Mónica Viviana Sandoval Rincón^a.

^a Universidad Nacional de Colombia-Sede de La Paz (Semillero intersedes REDVAR), Km 9 vía Valledupar- La Paz, La Paz, Cesar.

^b Universidad de Investigación y Desarrollo (UDI), FIELDS. Calle 9 # 23-55, Bucaramanga, Colombia.
Email: ^a aserranoz@unal.edu.co

Palabras clave: Bioplásticos, biomasa lignocelulósica, residuos agroindustriales, valorización de subproductos.

Resumen

El departamento de Cesar presenta una vocación agrícola importante con diversos cultivos agrícolas, los cuales en su procesamiento generan biomasa residual rica en celulosa, hemicelulosa y lignina. Estos residuos, representan una fuente potencial de materia prima para la obtención de nanocelulosa, un material con aplicaciones prometedoras en la producción de bioplásticos. Sin embargo, a pesar de que el aprovechamiento de residuos lignocelulósicos podría contribuir significativamente a la mitigación de impactos ambientales asociados a la acumulación de desechos agrícolas y a la dependencia de polímeros sintéticos, en el Cesar aún persiste un desbalance entre la generación de biomasa y su transformación efectiva.

En esta investigación se presenta un análisis comparativo de la composición y disponibilidad de la biomasa producida en el departamento del Cesar, así como la documentación de las metodologías empleadas para la obtención de nanocelulosa a partir de estos residuos. La metodología utilizada en esta revisión bibliográfica consistió en una búsqueda sistemática de literatura científica publicada en bases de datos académicas como Scopus, MDPI, ScienceDirect, SpringerLink y Google Scholar, además de literatura nacional. Para organizar de manera estructurada la búsqueda de información, se aplicó el enfoque PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Los criterios de búsqueda se definieron para abarcar el período comprendido entre 2015 y 2025, y se seleccionaron fuentes que reportan información primaria, métodos de obtención de nanocelulosa a partir de residuos lignocelulósicos, así como análisis composicional de esta biomasa.

Dentro de los resultados principales se destaca que el departamento del Cesar genera una considerable cantidad de biomasa proveniente de diversas actividades agroindustriales, la cual presenta un alto potencial de valorización para la obtención de nanocelulosa y la producción de bioplásticos. Estos procesos pueden llevarse a cabo mediante hidrólisis enzimática o ácida, metodologías que ofrecen rendimientos, grados de pureza y dimensiones variables (ver tabla 1), en función de las características fisicoquímicas de la biomasa y de la infraestructura disponible. Por lo tanto, esta revisión bibliográfica busca evidenciar el potencial de los principales residuos agrícolas generados en el Cesar para ser aprovechados como fuente de nanocelulosa para la producción de bioplásticos. Resaltando la necesidad de investigaciones aplicadas que impulsen el aprovechamiento de residuos dentro de una economía circular regional. En este contexto, la incorporación de tecnologías para la obtención de nanocelulosa en el desarrollo de biomateriales no sólo permitiría reducir



la contaminación ambiental que producen estos residuos agroindustriales, sino también abrir nuevas oportunidades de desarrollo económico a través de la generación de productos con alto valor agregado.

Tabla 1. Producción de diferentes NCs a partir de diversos residuos agroindustriales.

Residuo	Condiciones pretratamiento	Tratamiento NC	Tipo NC	Rendimiento	Dimensiones	Referencia
Cáscara de coco.	- Secado (80 °C, 48 h) triturado; tamizaje (<0,5 µm). - Eliminación cera/pectina: extracción Soxhlet etanol/tolueno 1:2 (v/v) 6 h, secado (40 °C, 24 h). - Tratamiento alcalino: NaOH 4% (1:20, p/v), 4 h, 80 °C. - Tratamiento blanqueador: NaClO ₂ 1,7 % 1:30 (p/v), 80 °C, 1 h, pH 4-5	Hidrólisis ácida: H ₂ SO ₄ 25, 45 y 65% en peso, 1:20 (p/v), 15-30-60 min, 25 °C; liofilización (-105 °C, 48 h, 0,013 mbar).	CNC	89 %	Longitud: 1-6 nm	[1]
Cáscaras de batata púrpura.	- Extracción antocianinas con etanol 70 % (v/v); asistido ultrasónico (500 W, 50 °C, 30 min); rotoevaporación; liofilización. - Hidrólisis enzimática α-amilasa 5 %, 1:10 p/p, 3 h, 65 °C. - Tratamiento alcalino: NaOH 10 % v/v (1:20), 4 h, 60 °C.	Hidrólisis ácida: ácido maleico 5% (p/p), asistida ultrasónico (475 W, 60 °C, 1 h), baño de aceite (110°C, 2 h).	CNC	75 %	Diámetro: 10-30 nm. Longitud: 60-220 nm.	[2]
Pulpa de eucalipto.	-Pretratamiento con disolvente eutéctico hidratado: ZnCl ₂ 0,1 mol (ZnCl ₂ ·9H ₂ O), baño maría (80 °C, 40 min). - Microondas (700 W, 60 s).	- Hidrólisis enzimática: endoglucanasa (<i>Penicillium oxalicum</i> cepa RE-6ΔC, 50 °C, 12 h, pH 4,8.	CNF/CNC	88 %	Diámetro: 5-10 nm. Longitud: 100-400 nm.	[3]
Hojas de <i>Acalypha hispida</i>	- Secado (100 °C, 24 h), pulverización. - Tratamiento alcalino: NaOH 2% (70 °C, 3 h). - Tratamiento blanqueador: NaOH 10-20% v/v, solución H ₂ O ₂ .	- Hidrólisis enzimática: xilanasas (<i>Bacillus pumilus</i>), 100:1 (p/v), 50 °C, 2 h.	CNF	80%	Diámetro: 15-40 nm.	[4]

NC: nanocelulosa; CNC: nanocristales de celulosa; CNF: nanofibrillas de celulosa.

[1] Saupi, F. A. C., Yusof, N. S. M., Rajagopal, V., & Rahman, N.M.M.A. (2025). Comparative analysis of nanocellulose extraction from *Cocos nucifera* shell by ultrasonication versus acid hydrolysis for methylene blue dye removal. *Iranian Polymer Journal (English Edition)*, 1–24.

[2] Zhu, S., Sun, H., Mu, T., Li, Q., & Richel, A. (2023). Preparation of cellulose nanocrystals from purple sweet potato peels by ultrasound-assisted maleic acid hydrolysis. *Food Chemistry*, 403, 134496.

[3] Li, H., Xin, Q., Li, X., Lu, X., & Zhao, J. (2024). Microwave-associated ZnCl₂ pretreatment followed by enzymatic hydrolysis for high-efficiency production of nanocellulose from *Eucalyptus* dissolving pulp. *Chemical Engineering Journal*, 500, 157280.

[4] Poornima, M. P., Mathews, A. A., Dileep, P., & Jacob, S. (2025). Synthesis of nanocellulose from *Acalypha hispida* leaves through enzymatic hydrolysis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 291, 13825



Uso de biobasados y microalgas en la inmovilización de Cadmio en suelos agrícolas y su efecto en la nutrición mineral de plantas

**Yefferson Torres Zambrano^{*a}, Susana Cañola Usuga^a, Ana María Guzman Gallo^a,
Andrea Tamayo^a, Julián Lopez^a.**

^aInstitución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín

Email: ^ayeffersont@est.colmayor.edu.co

Resumen

Colombia presenta suelos con altos niveles de cadmio (Cd) debido a su origen geológico, lo cual representa un riesgo para cultivos exportables como cacao, café y aguacate [1]. La acumulación de Cd en estos alimentos puede afectar la salud humana y limitar el acceso a mercados internacionales. Como estrategia de economía circular, la aplicación de estrategias de valorización a residuos orgánicos genera subproductos con alto potencial para la remoción y/o inmovilización de este metal; entre los productos a saber está el biochar y el digestato, estos materiales, por sus características fisicoquímicas estructurales, al ser aplicados al suelo como una enmienda orgánica reducen la adsorción del Cd por las plantas, y su uso promueve una agricultura más sostenible y segura [2].

De lo anterior, el objetivo de este proyecto fue evaluar el efecto de enmiendas orgánicas obtenidas a través de procesos de valorización de residuos orgánicos, sobre la adsorción de Cd en suelos agrícolas. Se usó biochar, material poroso obtenido a partir de la pirólisis de materia orgánica lignocelulósica, con capacidad de adsorber metales y mejorar la estructura del suelo; digestato, obtenido de la digestión anaerobia de residuos orgánico urbanos, rico en nutrientes (NPK), por lo que actúa como fertilizante orgánico tras su higienización; el bioformulado biochar-digestato, el cual integra propiedades adsorbentes y fertilizantes; materiales que representan alternativas sostenibles para inmovilizar el Cd y contribuyen al aporte nutricional de las plantas.

En este estudio se utilizó suelo agrícola de un cultivo de cacao del Departamento de Santander, con una concentración de cadmio total de $1,5 \pm 0,2$ mg/kg de Cd, este fue caracterizado fisicoquímicamente, posteriormente 100 g fueron depositados en macetas de 10 cm (H) y 6.2 cm (D), se aplica la enmienda a ser evaluada según corresponda en una dosis de 1% w/w, biochar (B), obtenido tras la pirólisis de residuos de maíz a 500 °C [3] (tabla 1), digestato (BL), obtenido por medio de digestión anaerobia de una planta piloto para el tratamiento de residuos urbanos, conformada por un reactor hidrolítico y un reactor UASB [4], biochar - digestato (BC) formulado por el grupo de investigación haciendo mezcla del biochar y digestato mencionados anteriormente [5], además del control, sin la aplicación de enmiendas. Cada ensayo se evaluó por triplicado, para un total de doce unidades experimentales. Se usaron semillas de pepino para evaluar el efecto de estas enmiendas, sobre la nutrición vegetal. Después de la siembra, se pesarán diariamente las macetas para ajustar la humedad con agua desionizada según sea necesaria, para así mantener la humedad adecuada por siete días. Transcurridos 30 días se recolectaron las plantas y suelos, analizando parámetros como concentración de Cd, NPK, materia orgánica, pH y CIC. Finalmente, los resultados serán analizados mediante un ANOVA de una vía seguido por una prueba Tukey ($p < 0.05$) para determinar si hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. A la fecha los resultados indican un efecto de las enmiendas sobre el Cd y la nutrición vegetal.



Como resultado se obtuvo que los tratamientos alteran la absorción de Cd y la disponibilidad de nutrientes esenciales. Estos cambios sugieren interacciones entre el metal y los nutrientes, así como efectos sobre las propiedades del suelo que impactan la nutrición vegetal.

Tabla 1. Caracterización biochar

Características	CS
EC (uS cm ⁻¹)	519 ± 9.0 _c
pH	10.3 ± 1.0
Ash content (%)	26.9 ± 0.7 _a
P (g kg ⁻¹)	0.7 ± 0.0 _b
K (g kg ⁻¹)	1.9 ± 0.1 _a
Ca (g kg ⁻¹)	18.4 ± 0.0 _a
Mg (g kg ⁻¹)	2.3 ± 0.0 _b
Na (g kg ⁻¹)	0.2 ± 0.0 _b
Cd (g kg ⁻¹)	< 0.03
Pb (g kg ⁻¹)	ND
Cr (g kg ⁻¹)	ND
N (%)	2.2
C (%)	50.1
H (%)	2.7
O (%)	20.7
H/C§	0.65
O/C§	0.41

Características	CS
C/N§	26.57
(O + N)/C§	0.35
Surface area (m ² g ⁻¹)	256
CEC (cmolc kg ⁻¹)	19.3 ± 1.1

Referencias

- [1] L. Järup and A. Åkesson, "Current status of cadmium as an environmental health problem," *Toxicol Appl Pharmacol*, vol. 238, no. 3, pp. 201–208, Aug. 2009, doi: 10.1016/J.TAAP.2009.04.020.
- [2] L. Wang, J. Rinklebe, F. M. G. Tack, and D. Hou, "A review of green remediation strategies for heavy metal contaminated soil," *Soil Use Manag*, vol. 37, no. 4, pp. 936–963, Oct. 2021, doi: 10.1111/SUM.12717.
- [3] N. Liu *et al.*, "Non-phytoremediation and phytoremediation technologies of integrated remediation for water and soil heavy metal pollution: A comprehensive review," *Science of The Total Environment*, vol. 948, p. 174237, Oct. 2024, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2024.174237
- [4] S. Pasieczna-Patkowska, M. Cichy, and J. Flieger, "Application of Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy in Characterization of Green Synthesized Nanoparticles," *Molecules* 2025, Vol. 30, Page 684, vol. 30, no. 3, p. 684, Feb. 2025, doi: 10.3390/MOLECULES30030684.
- [5] E. Villada *et al.*, "Combining anaerobic digestion slurry and different biochars to develop a biochar-based slow-release NPK fertilizer," *Science of The Total Environment*, vol. 927, p. 171982, Jun. 2024, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2024.171982.



Biopolímeros obtenidos de subproductos de aguacate Hass y de *Hedychium coronarium*

Daniela Llano Vélez^a, Juan Carlos Cuesta^a, Aída Luz Villa^a

^a Grupo Catálisis Ambiental, Universidad de Antioquia, Medellín
aida.villa@udea.edu.co

Resumen

La creciente preocupación global por la contaminación ambiental, generada por plásticos de un solo uso y la acumulación de subproductos agroindustriales impulsa la búsqueda de alternativas sostenibles. En Colombia la Ley 2232 de 2022 establece la prohibición y sustitución gradual de plásticos de un solo uso [1]. En esta investigación se utilizó la semilla de aguacate Hass cultivado en el Oriente Antioqueño y fibras obtenidas de la planta invasora en Chocó *Hedychium coronarium* (HC) para la obtención de biopolímeros. Para la formulación de biopolímeros se utilizó el diseño de experimentos de mezcla que se describe en la Tabla 1; se varió la cantidad de semilla de aguacate molida -Almidón (A), glicerina (G) como plastificante, ácido cítrico (D) como reticulante, la arcilla bentonita (B) y fibras del tallo de HC (C) para suministrar flexibilidad al biopolímero y reducir la fragilidad en comparación con refuerzos particulados [2]. Se obtuvo probetas mediante el moldeo por termo prensado casero disponiendo la formulación entre varias capas de papel sobre una superficie plana, aplicando presión y calor mediante el uso de dos planchas caseras y una contrapresión (ver Figura 1a) [3].

Tabla 1. Diseño de experimento de mezcla.

Formulación	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)	G (%)
1	56,0	5	0,0	9	30
2	44,8	5	11,2	9	30
3	33,6	5	22,4	9	30
4	22,4	5	33,6	9	30
5	53,0	8	0,0	9	30
6	42,4	8	10,6	9	30
7	31,8	8	21,2	9	30
8	21,2	8	31,8	9	30

A: semilla de aguacate molida, B: bentonita, C: fibras del tallo de HC, D: ácido cítrico, G: glicerina.

El espectro FTIR del almidón extraído de la semilla de aguacate Hass mostró una banda ancha en 3207 cm^{-1} y en 1640 cm^{-1} que corresponden a los grupos hidroxilo (O-H) y la humedad absorbida. La señal en 2935 cm^{-1} es asignada a las vibraciones de estiramiento C-H; las bandas en 1420 cm^{-1} , 1150 cm^{-1} y 928 cm^{-1} confirman la estructura polisacárida del almidón con asignaciones a enlaces C-H y C-O-C.



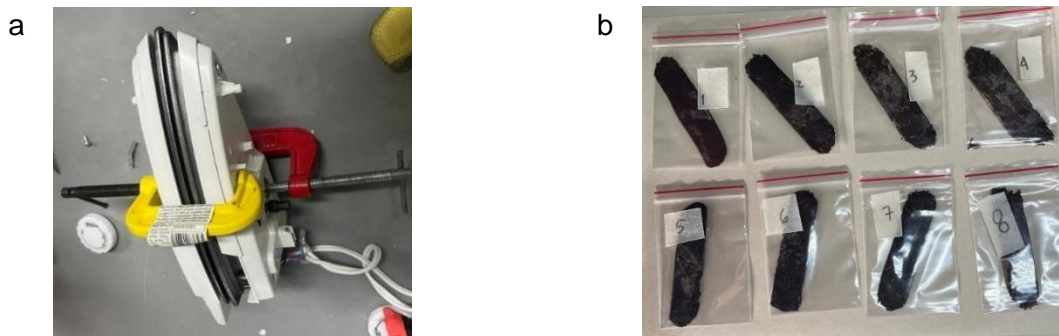


Figura 1. Sistema de termo prensado utilizado (a), probetas obtenidas del diseño de experimento (b).

La semilla de aguacate molida aporta fibra, celulosa y almidón, actuando como base estructural en la formulación de las probetas; el glicerol, que actúa como plastificante, confiere al material flexibilidad. La incorporación de bentonita como carga mineral refuerza la resistencia mecánica y la dureza del compuesto [2]. La inclusión de fibras del tallo de HC mejora la cohesión y reduce la fragilidad, gracias a su alto contenido de lignocelulosa. El ácido cítrico actúa como agente reticulante, favoreciendo la formación de enlaces entre las cadenas poliméricas, lo que mejora la estabilidad térmica. Después de variaciones adicionales, se encontró que la formulación con la que se obtuvo el mejor desempeño en términos de apariencia, textura, flexibilidad y resistencia mecánica preliminar, estuvo compuesta por 50% de la mezcla semilla de aguacate molida-almidón extraído 50-50%, 15% de fibras vegetales de HC, 5% de bentonita, 25% de glicerol y 5% de ácido cítrico, con una relación de agua respecto a los sólidos de 1:100. En las pruebas de tracción adaptando la norma ASTM D638 se obtuvo una fuerza máxima promedio de 7,8 N, que corresponde a un esfuerzo de tracción de 1,6 MPa, para un área transversal de 5 mm². Estos resultados son comparables con lo reportado en literatura para bioplásticos de harina de yuca [4], donde se reporta un esfuerzo de tracción de 1,8 ± 0,2 MPa. El uso combinado de subproductos agroindustriales como la semilla de aguacate Hass y fibras del tallo de *Hedychium coronarium* permitió el desarrollo de biopolímeros, estos resultados confirman el potencial de estos residuos como materia prima sostenible, contribuyendo a la reducción del uso de plásticos convencionales y al aprovechamiento integral de desechos orgánicos.

Referencias

- [1] Congreso de Colombia. (2022, 7 de julio). *Ley 2232 de 2022. Por la cual se establecen medidas tendientes a la reducción gradual de la producción y consumo de ciertos productos plásticos de un solo uso y se dictan otras disposiciones.* Diario Oficial No. 52.089.
- [2] Jiménez Sánchez, D. A. (2024). *Aplicación de la semilla de aguacate en el desarrollo de cubertería biodegradable y descartable.* Repositorio institucional.
- [3] Luna, G., & Villada, H. (2009). Almidón termoplástico de yuca reforzado con fibra de fique. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (50), 84–93. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43012978007>
- [4] Navia, M., Velásquez, L., & Gutiérrez, R. (2013). Evaluación mecánica de bioplásticos semirrígidos elaborados con harina de yuca. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(spe), 161–170. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612013000300009



Biorrefinería conceptual para la obtención de almidón mediante residuos de semilla de aguacate

Jacobo Vasquez-Tamayo¹, Rolando Barrera-Zapata^{1*}, Sandra Liliana Herrera- Zapata ¹.
¹ Universidad de Antioquia, Medellín.

Resumen: La creciente necesidad de desarrollar un paso a una economía circular trae consigo una búsqueda de herramientas y plantas adecuadas para darle un uso a los residuos, la agricultura no es la excepción. Tan solo en frutos de rechazo, algunas empresas exportadoras del oriente Antioqueño llegan a generar hasta una tonelada por hora de residuos, a los cuales se les desea dar un uso para generar un valor agregado, para ello, se plantea una biorrefinería conceptual en Aspen plus la cual posee como alimentación aguacates de rechazo convirtiéndolos en extracciones de almidón y aceites vegetales. El modelo actual de simulación logra unas recuperaciones mayores del 90%.

Palabras clave: Almidón, aceites, biorrefinería, simulación, frutos de rechazo

Para el desarrollo del proyecto el primer paso fue realizar búsquedas bibliográficas detalladas en las cuales se especifiquen las características fisiológicas, genéticas y composición química del aguacate cultivado en la región del oriente antioqueño, además de datos geográficos y sociales del municipio de Sonsón.

Acto seguido se realiza una búsqueda en literatura y bases de datos para conocer los principales usos del aguacate entre los que se destacan la extracción de almidón de la semilla, la extracción de aceites vegetales y la obtención de pectinas de la cáscara, la ruta elegida es la de la obtención de almidón debido a que esta posee como corriente secundaria de salida la extracción de aceites por lo que se les dan dos usos válidos a los residuos.

Una vez encontrada la ruta a seguir el reto radicó en la simulación de una semilla de aguacate en el software Aspen plus, para ello se necesita conocer de forma clara la composición del elemento a simular por lo que se realizó una búsqueda exhaustiva de información en la cual se obtienen análisis tanto de macromoléculas como análisis proxanal y ultanal, utilizando como combinaciones destacadas:

Tabla 1. Porcentajes peso de macromoléculas presentes en el aguacate.

Parámetro	Porcentaje Peso Reportado
Humedad	13
Lípidos	15.7
Vitaminas	38
Carbohidratos	48.2
Fibra	4.1
Cenizas	0.84



Nota: estos valores son la combinación de reportes de diferentes autores.

Actualmente se ha podido simular un proceso con una recuperación del 95% de almidón y como corriente secundaria se obtiene el 96% de los aceites vegetales presentes en la semilla extraídos por decantación con hexano como solvente, se trabaja en darle uso a las corrientes de salida para buscar posibles reflujos, la figura 1 muestra el actual diagrama de proceso simulado en Aspen Plus a partir del modelo preliminar se espera lograr simular diferentes escenarios que permitan proponer rutas para el aprovechamiento efectivo de estos residuos en el oriente antioqueño.

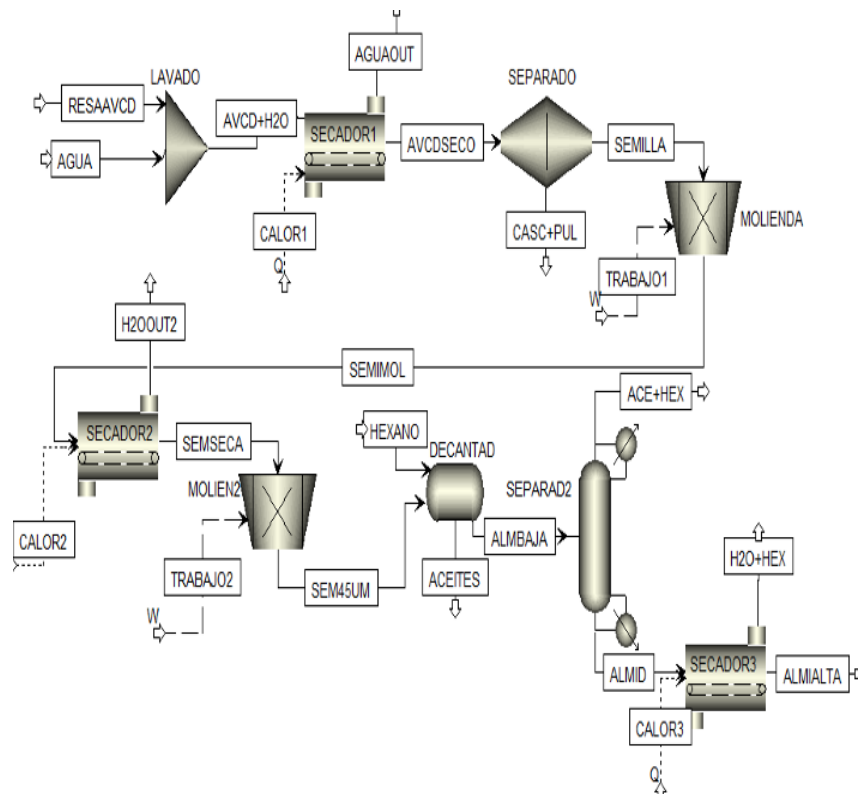


Figura 1. Diagrama de proceso y corrientes presentes simulados en Aspen plus.

Referencias destacadas

[1] Bangar, S. P. , Dunno, K., Dhull, S.B., Siroha, A.K. Changan, S., Maqsood, S., Rusu, A.V. (2022). Avocado seed discoveries: Chemical composition, biological properties, and industrial food applications,. Food Chemistry: X, Volume 16.

[2] Ogoru, R., Nwaokobia, K. (2018). Evaluation of the chemical composition of Persea americana (Mill) pulp and seed. Journal of Bioscience and Biotechnology Discovery.



Aprovechamiento integral de residuos de plantas aromáticas para la producción de biopolímeros: desarrollo de macroesferas adsorbentes para la biorremediación de colorantes industriales a partir de tallos de *Lippia alba*

Ballesteros L., Aranzales L., Noriega Y., Martínez E., Durán D.^{a*}

^a Universidad Nacional de Colombia - Sede de La Paz (Semillero REDVAR, Semillero de Bioprospección de Especies Vegetales), km 9 vía Valledupar – La Paz, Cesar, Colombia.
Email: diduran@unal.edu.co

Palabras clave: cinética, adsorción, azul de metileno, contaminante, biomasa lignocelulósica.

Resumen

La creciente producción de colorantes sintéticos, como el azul de metileno, responde a la demanda de industrias como la textil, papelería y farmacéutica. Sin embargo, su baja biodegradabilidad y resistencia a factores ambientales dificultan su eliminación en los tratamientos convencionales de aguas residuales, lo que representa un riesgo para los ecosistemas acuáticos [9]. En paralelo, el interés por las plantas aromáticas y medicinales, cuyo comercio crece entre un 8–10 % anual [1], ha impulsado la extracción de aceites esenciales. Este proceso genera grandes volúmenes de residuos, entre ellos la biomasa lignocelulósica (BLC) de *Lippia alba*, rica en celulosa. Este polímero natural y renovable se perfila como materia prima para elaborar macroesferas adsorbentes, caracterizadas por su porosidad y superficie específica, capaces de remover de manera eficiente y sostenible contaminantes como el azul de metileno [2,3]. En el presente trabajo se plantea la valorización de la biomasa lignocelulósica de la especie aromática *Lippia alba* mediante la extracción de celulosa, con el objetivo de emplearla en la formulación de esferas adsorbentes para la remoción de azul de metileno en soluciones acuosas. Para alcanzar el objetivo propuesto, se extrajo celulosa a partir de tallos de *Lippia alba*. Estos fueron secados a 105 °C durante 48 horas, triturados y tamizados con malla #40. La biomasa obtenida se sometió a una hidrólisis alcalina con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 10 %, tres veces, con el fin de eliminar componentes no celulósicos como lignina y hemicelulosa, solubles en medio alcalino. Posteriormente, se ajustó su pH a 7, se filtró al vacío y secó nuevamente a 105 °C [4]. La celulosa sin compuestos no celulósicos (CSC) se empleó para la elaboración de macroesferas, mediante su mezcla con una solución de alginato de sodio y su incorporación gota a gota en una solución de cloruro de calcio (CaCl₂) al 10 %, lo que permitió su gelificación. Las macroesferas formadas se lavaron con agua destilada para eliminar residuos de reactivos, se deshidrataron a 80 °C durante tres días y se almacenaron en un desecador hasta su uso [5].

La capacidad adsorbente de macroesferas de celulosa se evaluó utilizando azul de metileno como contaminante modelo. La concentración residual se determinó por espectrofotometría UV-Visible a 665 nm, empleando una curva de calibración en el rango de 5 a 20 ppm. Los ensayos mostraron eficiencias de remoción entre el 40 % y el 90 %, en función de la concentración inicial y con una dosis mínima de 5 g/L de adsorbente. El análisis cinético permitió comprender el comportamiento del sistema [5] [6] [7], aplicando los modelos de pseudo-primer orden, pseudo-segundo orden y difusión



intraparticular. Los resultados indicaron que tanto el modelo de pseudo-segundo orden ($R^2 > 0,8496$) como el de difusión intraparticular ($R^2 > 0,9818$) describieron adecuadamente la cinética de adsorción, lo que sugiere que el proceso está controlado tanto por interacciones químicas como por la penetración del colorante en los poros del adsorbente. Por su parte, el estudio de isothermas de adsorción (Langmuir, Freundlich y Temkin) evidenció que el modelo de Langmuir fue el que mejor se ajustó a los datos experimentales, con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0,9590$, confirmando la tendencia hacia la formación de monocapa en la superficie del material adsorbente. Aunque aún no se dispone de una caracterización fisicoquímica completa de las macroesferas, los resultados obtenidos en cuanto a la remoción, adsorción y cinética del contaminante indican que estas presentan un alto potencial como biomaterial para la eliminación de azul de metileno en soluciones acuosas. El fortalecimiento de este desarrollo implica diversas etapas, entre ellas la caracterización fisicoquímica y térmica [8], así como la evaluación de su viabilidad técnica, económica y ambiental. Todo el proceso se enmarca en un enfoque sostenible, que prioriza el aprovechamiento de subproductos agrícolas, la minimización de residuos y la generación de materiales funcionales con valor tanto comercial como social.

Referencias

- [1] Chandra, P., & Sharma, V. (2019). Marketing information system and strategies for sustainable and competitive medicinal and aromatic plants trade. *Information Development*, 35(5), 806–818. <https://doi.org/10.1177/0266666918802415>
- [2] Oladoye, P. O., Ajiboye, T. O., Omotola, E. O., & Oyewola, O. J. (2022). Methylene blue dye: Toxicity and potential elimination technology from wastewater. In *Results in Engineering* (Vol. 16). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100678>
- [3] Samsalee, N., Meerasri, J., & Sothornvit, R. (2023). Rice husk nanocellulose: Extraction by high-pressure homogenization, chemical treatments and characterization. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100353>
- [4] Abdullah, A. H., Yasin, S. A., Abdullah, S. M., Khalaf, M. Y., & Saeed, I. A. (2022). A kinetic and isotherm study on removing methylene blue from aqueous solutions by oxidized cellulose nanostructure. *Emergent Materials*, 5(4), 1199–1212. <https://doi.org/10.1007/s42247-022-00397-5>
- [5] Abd El-Latif, M. M., Ibrahim, A. M., & El-Kady, M. F. (2010). Adsorption Equilibrium, kinetics and thermodynamics of methylene blue from aqueous solutions using biopolymer oak sawdust composite. In *Journal of American Science* (Vol. 6, Issue 6). <http://www.americanscience.org/submit@americanscience.org>
- [6] Singh, N. B., Nagpal, G., Agrawal, S., & Rachna. (2018). Water purification by using Adsorbents: A Review. In *Environmental Technology and Innovation* (Vol. 11, pp. 187–240). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.05.006>
- [7] Rathi, B. S., & Kumar, P. S. (2021). Application of adsorption process for effective removal of emerging contaminants from water and wastewater. *Environmental Pollution*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116995>
- [8] Pellenz, L., de Oliveira, C. R. S., da Silva Júnior, A. H., da Silva, L. J. S., da Silva, L., Ulson de Souza, A. A., de Souza, S. M. de A. G. U., Borba, F. H., & da Silva, A. (2023). A comprehensive guide for characterization of adsorbent materials. In *Separation and Purification Technology* (Vol. 305). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.122435>
- [9] Oladoye, P. O., Ajiboye, T. O., Omotola, E. O., & Oyewola, O. J. (2022). Methylene blue dye: Toxicity and potential elimination technology from wastewater. In *Results in Engineering* (Vol. 16). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100678>



Análisis del fraguado de pastas de cemento elaboradas con cenizas de cáscara de papa, semilla de aguacate y hojarasca

Luisa María Ramírez-Arboleda^a, Sara Castaño-Gil^a, María Soledad Hernández-Rivera^b, Juan Diego Jaramillo-Restrepo^a, Ximena Gaviria Gómez^a, Maria Isabel Mejia Correa^{a,*}.

^a Universidad de Medellín, Medellín

^b Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Irapuato, México

Email: *mimejia@udemedellin.edu.co

Palabras claves: Residuos orgánicos, pasta de cemento, fraguado, impactos ambientales, cenizas.

Resumen

La industria cementera representa el 8% de las emisiones globales de dióxido de carbono (CO₂), ubicándose como la tercera fuente de emisiones en el mundo, según datos de la Agencia Internacional de la Energía [1]. Así mismo, en Colombia, según la Cámara Colombiana del Cemento y el Concreto (Procemco), por cada tonelada de cemento producido se emiten 600 kilogramos de CO₂ [2].

En Colombia, se han desarrollado diversas iniciativas orientadas a la producción de cemento ecológico, como es el caso de la empresa Argos en su planta de Rioclaro (Sonsón, Antioquia), en la cual se instaló una línea de activación térmica de arcilla que reduce hasta un 38% las emisiones de CO₂ y disminuye en un 30% el consumo de energía [3].

Al observar el impacto de la producción de concreto en el ambiente, se han buscado posibles alternativas para minimizarlo, entre las alternativas se incluye el uso de distintos residuos orgánicos disponibles en el entorno para sustituir parte de las materias primas empleadas en la producción del concreto. Estudios recientes han demostrado que es posible aprovechar los residuos orgánicos como sustitutos parciales del cemento o como material de relleno (*filler*), lo que permite su uso en mezclas de concreto o morteros [4].

En este trabajo, se implementó el uso de residuos de cáscara de papa, semilla de aguacate y hojarasca (obtenida de residuos de césped provenientes de la poda del jardín, y residuos de hojas y tallos provenientes de arbustos y árboles), para la elaboración de cenizas y su posterior uso en pastas de cemento. Para la producción de las cenizas, los residuos se recolectaron y adecuaron en su forma, para ser luego secados a 105°C y posteriormente calcinados durante 2h a 500°C con un gradiente de temperatura de 10°C/min. La ceniza obtenida fue luego molida. Para la elaboración de las pastas de cemento se siguió el estándar C305 de la ASTM, con una relación agua/material cementante de 0.4 y se hicieron ensayos de fraguado con una pasta sin cambios, y con tres pastas en donde a cada una de estas se le reemplazó el 5% (en masa) del cemento con las cenizas de uno de los residuos. Para las pastas de cemento obtenidas se evaluaron sus propiedades de fraguado siguiendo el estándar C191 de la ASTM.



Los resultados obtenidos en la Tabla 1, indican que el promedio en la eficiencia de calcinación varía según el tipo de residuo, alcanzando un mejor comportamiento para el residuo de cáscara de papa. La eficiencia se estimó como el cociente entre la cantidad de material después y antes de la calcinación. Los resultados de las pruebas de fraguado para las pastas con un 5% de cenizas de cada residuo utilizado, tanto para la pasta de cemento de control (sin reemplazo por cenizas) (Figura 1).

Tabla 1. Eficiencia de calcinación, por cada residuo.

Residuo	Cantidad de residuo calcinado (g)	Promedio de eficiencia de calcinación (%)
Semilla de aguacate	5.6048	9.5529
Hojarasca (residuos de jardín)	5.7907	12.3506
Cáscara de papa	65.1025	13.8098

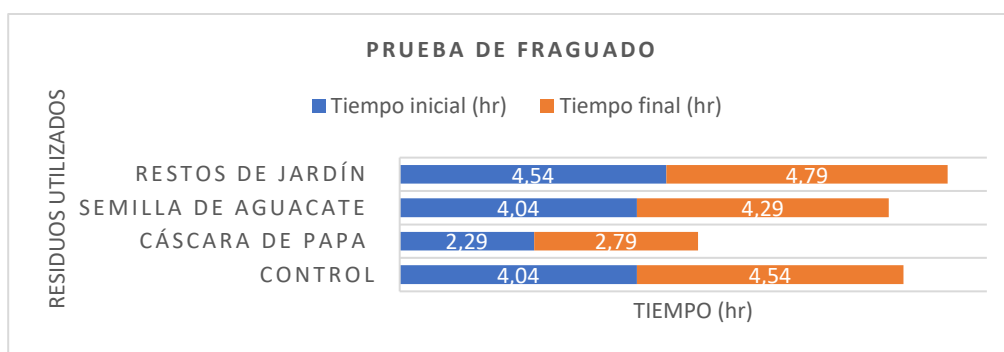


Figura 1. Resultados de la prueba de fraguado con residuos de cáscara de papa, semilla de aguacate, hojarasca (residuos de jardín) y el control.

Referencias

- [1] Transformación de residuos en combustibles alternativos: innovación sostenible para la industria cementera en Colombia (Última visita, Julio de 2025). Disponible en: <https://www.portafolio.co/sostenibilidad/transformacion-de-residuos-en-combustibles-alternativos-innovacion-sostenible-para-la-industria-cementera-en-colombia-621823>.
- [2] El cemento también es responsable del cambio climático: ¿podremos sustituirlo? (Última visita, Julio de 2025). Disponible en: <https://www.elespectador.com/ambiente/el-cemento-tambien-es-responsable-del-cambio-climatico-podremos-sustituirlo/>.
- [3] Argos: ¿Cuál es la innovación que inventó esta firma para fabricar cemento? (Última visita, Julio de 2025). Disponible en: <https://www.semana.com/edicion-impresa/negocios/articulo/argos-cual-es-la-innovacion-que-invento-esta-firma-para-fabricar-cemento/281667/>.
- [4] M.N. Capela, D.M. Tobaldi, M.P. Seabra, L.A.C. Tarelho, J.A. Labrincha. *Biomass and Bioenergy* 166 (2022).



Transformación del bagazo de caña mediante carbonización hidrotérmica para la remoción de contaminantes

Yurtley Fernanda Enriquez Cueltan^a, Jonathan Urrea Monsalve^a, Angie Valentina Pérez Nuñez^a, Elizabeth Pabón, Maurin Salamanca Guzman*

a Grupo de Investigación Ciencia de Materiales Avanzados, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Medellín

*Email: *masalamanca@unal.edu.co*

Resumen

Colombia es uno de los principales productores de caña de azúcar en Sudamérica, con una molienda anual cercana a los 23,4 millones de toneladas, los cuales generan de 6 a 7 millones de toneladas de bagazo como residuo agroindustrial [1]. Gran parte de este residuo se destina a la cogeneración de energía, este uso no aprovecha el potencial del material y contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero. Una de las problemáticas derivadas del acelerado incremento poblacional y el aumento del consumo de agua se ve reflejado en la contaminación de estas por actividades antropogénicas, lo que hace necesario la implementación de tratamientos eficientes de las aguas residuales antes de su vertimiento. En este sentido, genera especial preocupación los contaminantes orgánicos tales como colorantes industriales o contaminantes emergentes (CE), los cuales no llegan a ser eliminados por completo en las plantas de tratamiento. Los CE incluyen fármacos y productos de cuidado personal, entre los más relevantes se encuentran los antibióticos que pueden causar efectos adversos a largo plazo en los organismos acuáticos e inducir resistencia bacteriana [2]. En este trabajo se realizó la carbonización hidrotérmica de bagazo de caña para evaluar su potencial aplicación en la remoción de azul de metileno (AM) y sulfametoxazol (SMX). El bagazo fue molido y tamizado. Para el proceso hidrotérmico, se utilizó una relación biomasa:agua (1:15). Adicionalmente, se evaluó la adición de ácido fosfórico (H_3PO_4) e hidróxido de potasio (KOH), con el objetivo de mejorar las propiedades del hidrocarbón. El uso de hidróxido de potasio (KOH) en el proceso hidrotérmico fue descartado tras observar una degradación excesiva de la biomasa durante el proceso. Por tanto, se evaluaron en procesos de adsorción únicamente los hidrocarbónes obtenidos con H_3PO_4 o agua. El proceso solvotérmico se realizó con una relación biomasa-solvente de 1:30. Se obtuvieron cinco carbónes (CAH1–CAH5) a 150 °C, se evaluó el efecto de la concentración de H_3PO_4 , y el tiempo de tratamiento hidrotérmico. En la Tabla 1 se presentan las condiciones y la denominación para cada uno de los materiales obtenidos.

Los ensayos de adsorción se realizaron empleando una dosis de 1g/L de carbón en 30 mL de soluciones de sulfametoxazol (50 mg L^{-1}) y azul de metileno (50 mg L^{-1}) a pH 7 y temperatura ambiente, con tiempos de contacto de 24 y 48 h. Los resultados obtenidos para la capacidad de adsorción por unidad de masa (q) de los materiales, muestran que el hidrocarbón CAH3 presentó la mayor capacidad de adsorción tanto para sulfametoxazol (10.08 mg/g) como para el azul de metileno (46.6 mg/g) a las 24 horas. A las 48 horas, también se observa un buen desempeño de CAH1 y CAH4.

En contraste, el carbón C5, preparado por el proceso hidrotérmico tradicional, mostró un desempeño notablemente inferior, confirmando que la ausencia de tratamiento adecuado limita severamente su



capacidad de adsorción. La caracterización por FT-IR (Figura 1) muestra una banda en $\sim 1700\text{cm}^{-1}$, asociada a grupos **carboxílicos**. En los materiales obtenidos en presencia de H_3PO_4 (**CAH 1–CAH 4**) la señal de $\sim 1050\text{ cm}^{-1}$ se puede atribuir al estiramiento de fosfatos incorporados durante la activación. En cambio, el **CAH5**, preparado únicamente con agua, exhibe una banda intensa en la misma región, que se puede relacionar con estiramientos **C–O** de restos polisacáridicos deshidratados o a estiramientos **Si–O–Si** de la sílice natural presente en el bagazo [3]. El CAH3 presentó la banda carboxilo más pronunciada en $\sim 1700\text{ cm}^{-1}$ y coincidió con la mayor capacidad de adsorción (93% AM y 21% de SMX), lo que indica que los grupos oxigenados, en especial los carboxilos, favorecen la retención de contaminantes.

En conclusión, estos resultados indican que el tratamiento hidrotermal en presencia de ácido fosfórico favorece la formación de sitios activos adecuados para la adsorción, demostrando una alta eficacia frente al colorante y una remoción moderada del antibiótico, consolidándose como adsorbentes prometedores para aguas contaminadas.

Tabla 1. Capacidad de adsorción por unidad de masa, q [mg/g], a pH 7, concentración contaminante 50 mg/L dosis hidrocarbón 1 g/L.

Compuesto	CAH1	CAH2	CAH3	CAH4	CAH5
	T= 150°C t=48h H ₃ PO ₄ 4M	T= 150°C t=24h H ₃ PO ₄ 4M	T= 150°C t=48h H ₃ PO ₄ 2M	T= 150°C t=24h H ₃ PO ₄ 2M	T= 150°C t=48h H ₂ O
24 horas q [mg/g]					
SMX	9.77	9.59	10.10	8.48	1.46
AM	16.78	38.07	46.60	29.04	12.49
48 horas q [mg/g]					
SMX	10.73	9.92	9.58	10.60	1.13
AM	12.21	42.66	45.63	40.84	3.90

Referencias

- [1] Calero, C. X., et al. (2024). Informe de Sostenibilidad 2022 - 2023. Asocaña. <https://asocana.org/modules/documentos/vistadocumento.aspx?id=17711>
- [2] Kasonga, et al (2021) *Journal of Environmental Management*, 277, 111485, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111485>
- [3] Chindaprasirt, P. & Rattanasak, U. (2020) *Scientific Reports*, 10, 9890. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66885-y>



Utilización de residuos agroindustriales de *Mangifera Indica* y *Theobroma Cacao* para la formulación de un biomaterial

Lilia Inés Castilla Ortega^a, Claudia Patricia Tavera Ruiz^b, Mónica Viviana Sandoval Rincón^a

^a Universidad Nacional de Colombia-Sede de La Paz (Semillero intersedes REDVAR), Km 9 vía Valledupar- La Paz, La Paz, Cesar.

^b Universidad de Investigación y Desarrollo (UDI), FIELDS. Calle 9 # 23-55, Bucaramanga, Colombia.

*Email: lcastillao@unal.edu.co

Palabras claves: biomaterial, residuos agroindustriales, *Mangifera Indica*, *Theobroma Cacao*

Resumen

La industria agrícola genera grandes volúmenes de biomasa conocidos como agro-residuos, los cuales se consideran uno de los recursos más económicos y fácilmente renovables del planeta. Estos residuos son ricos en compuestos de alto interés comercial, como la lignina, hemicelulosa y la celulosa, siendo polisacáridos que se encuentran en abundancia en la naturaleza. A partir de lo anterior, la valorización de los residuos agrícolas como fuente de celulosa adquiere mayor relevancia considerando la gran cantidad de material generado, a su vez comprende el volumen de residuos que se encuentran disponibles permitiendo dimensionar su potencial de aprovechamiento, así como la necesidad de una gestión adecuada. En Colombia, se estima que estos residuos agrícolas alcanzan un volumen representativo de 218.007.204 toneladas [1], lo que resalta la importancia de su adecuada gestión y posible aprovechamiento como materia prima en procesos sostenibles. Entre los principales cultivos que generan este tipo de residuos, se destacan aquellos que tienen un alto valor comercial y una amplia producción, como lo son el Cacao y el Mango, cuyas cáscaras constituyen una fracción significativa del total de residuos generados. De acuerdo con la Federación Nacional de Cacaoteros, la cáscara representa entre el 52 % y el 70 % del peso del fruto fresco del cacao (2,1 millones de toneladas, en 2021) [2]. Por otro lado, la industria del mango generó alrededor de 311.920 toneladas de residuos durante el mismo periodo [3].

Si bien estas cifras reflejan el potencial de valorización de residuos a nivel nacional, es importante considerar el escenario regional. El departamento del Cesar se destaca por su intensa actividad agraria, lo cual implica que una gestión inadecuada de estos residuos puede contribuir significativamente a la contaminación ambiental, afectando la calidad de vida de las comunidades rurales. Frente a esta situación, el aprovechamiento de residuos agroindustriales adquiere una relevancia aún mayor, dado que muchos de estos son ricos en celulosa, representando una oportunidad para ser transformados en materiales utilizables. Esta valorización no solo permite aprovechar recursos que son desechados, sino que contribuye a reducir la dependencia de plásticos convencionales, cuyo uso ha tenido un alto impacto ambiental. Se estima que en Colombia se consumen alrededor de 1.250.000 toneladas de plásticos al año, de las cuales el 70% termina en rellenos sanitarios [4]. Por ello, ha surgido un creciente interés en el desarrollo de alternativas sostenibles como los bioplásticos, los cuales podrían representar una solución ecológica y económicamente viable para mitigar el problema de la contaminación por residuos plásticos. En este marco, la presente investigación propone la elaboración de un prototipo de bioplástico a partir de residuos de Mango y Cacao, como una estrategia para revalorizar estos subproductos agrícolas y



contribuir a la sostenibilidad ambiental. Las biomásas utilizadas de *Mangifera Indica* y *Theobroma cacao* se sometieron inicialmente a un pretratamiento alcalino con hidróxido de sodio a 100°C con el objetivo de eliminar compuestos no deseados como grasas, resinas, pigmentos, lignina y hemicelulosa generando un cambio notable de color y textura en los residuos, teniendo una coloración más clara, con una textura más fibrosas y menos compacta [6]. Posteriormente se aplicó un tratamiento combinado con hipoclorito de sodio y ácido acético, con el fin de modificar las propiedades estructurales de la biomasa, las cuales, adquiriendo una tonalidad más blanquecina y uniforme, evidenciando la eliminación adicional de pigmentos y compuestos no celulósicos, así como modificaciones en la estructura de la amilopectina [5] El rendimiento obtenido de celulosa extraída de *Mangifera Indica* 97% y *Theobroma Cacao* 91%. Se llevó a cabo una hidrólisis enzimática, realizó con la enzima celulasa, con el fin de permitir la ruptura de forma selectiva de las regiones amorfas de la celulosa, facilitando la obtención de nanocelulosa, transformándose es una solución homogénea con disminución del tamaño de las fibras, lo que sugiere la liberación y formación de cristales nanocelulósicos. La formulación del bioplástico como refuerzo en la matriz de almidón permitió obtener láminas finas, flexibles y de coloración opaca con una superficie lisa y sin presencia visible de grumos. [6]. Finalmente, se realizaron pruebas de estabilidad térmica y degradabilidad.

Referencias

- [1] Urban, agricultural and livestock residues in the context of biorefineries [Internet]. Revista Facultad de Ingeniería. 2019 [citado 2025 jul 3]. Disponible en: Urban, Agricultural and Livestock Residues in the Context of Biorefineries | Revista Facultad de Ingeniería
- [2] Residuos del cacao son materia prima para productos desechables [Internet]. Universidad de Antioquia; 2023 [citado 2025 jul 3]. Disponible en: Residuos del cacao son materia prima para productos desechables
- [3] Profesional R. La cáscara del mango, un residuo de gran potencial para la agroindustria [Internet]. Residuos Profesional; 2021 [citado 2025 jul 3]. Disponible en: <https://www.residuosprofesional.com/la-cascara-del-mango-un-residuo-de-gran-potencial-para-la-agroindustria/>
- [4] Salcedo-Puerto O, Mendoza-Martínez C, Vakkilainen E. Solid residues from cocoa production chain: assessment of thermochemical valorization routes. *Renew Sustain Energy Rev.* 2025; 208:114703.
- [5] Muhammad A, Roslan A, Sanusi SNA, Shahimi MQ, Nazari NZ. Mechanical properties of bioplastic from cellulose nanocrystal (CNC) mangosteen peel using glycerol as plasticizer. *J Phys Conf Ser.* 2019;1349(1):012099.
- [6] Marakana PG, Dey A, Sain B. Isolation of nanocellulose from lignocellulosic biomass: synthesis, characterization, modification, and potential applications [Internet]. 2021 [citado 2025 jul 3]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343721015839>



Biocarbones ambientalmente sostenibles para mitigación de las emisiones de SOx en combustibles líquidos

Luigi Merchán Suárez*, Yazmin Agámez-Pertuz, Eduard Romero Malagón.

^a Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Química Bogotá D.C

Email: lmerchans@unal.edu.co

Resumen

La creciente exigencia en las regulaciones sobre el contenido de azufre en combustibles líquidos ha impulsado el desarrollo de tecnologías más limpias y sostenibles que superen las limitaciones de la hidrodesulfuración (HDS) ¹. En este contexto, el presente trabajo propone la valorización de residuos de borra de café como fuente de precursores carbonosos aplicables a la desulfuración adsorptiva (ADS) ^{2 3} de compuestos azufrados aromáticos, como el benzotiofeno. Se desarrollaron seis materiales carbonosos a partir de procesos térmicos escalonados: pirólisis a 400 y 700 °C en atmósfera de N₂, modificación con CO₂ a la misma temperatura de pirólisis y activación a 850 °C en atmósfera de CO₂. La caracterización de los adsorbentes obtenidos se realizó mediante espectroscopía infrarroja (ATR-FTIR), espectroscopía Raman, análisis termogravimétrico (TGA), titulaciones ácido-base de Boehm, y fisisorción de nitrógeno (BET).

La caracterización termogravimétrica (Figura 1A) del precursor evidenció tres etapas diferenciadas en la degradación térmica: (i) pérdida de humedad (30–120 °C), (ii) descomposición activa (180–380 °C) y (iii) fase pasiva (>380 °C). El análisis se realizó a diferentes velocidades de calentamiento (5–30 °C·min⁻¹), observándose perfiles prácticamente similares en función de la temperatura, lo que indica una baja sensibilidad aparente de los eventos térmicos al rango de rampas evaluado. No obstante, el análisis cinético complementario reveló variaciones en los parámetros de activación, relevantes para definir condiciones óptimas de pirólisis (400–700 °C) y obtener biocarbones con mayor estabilidad térmica, como el material activado (CA700).

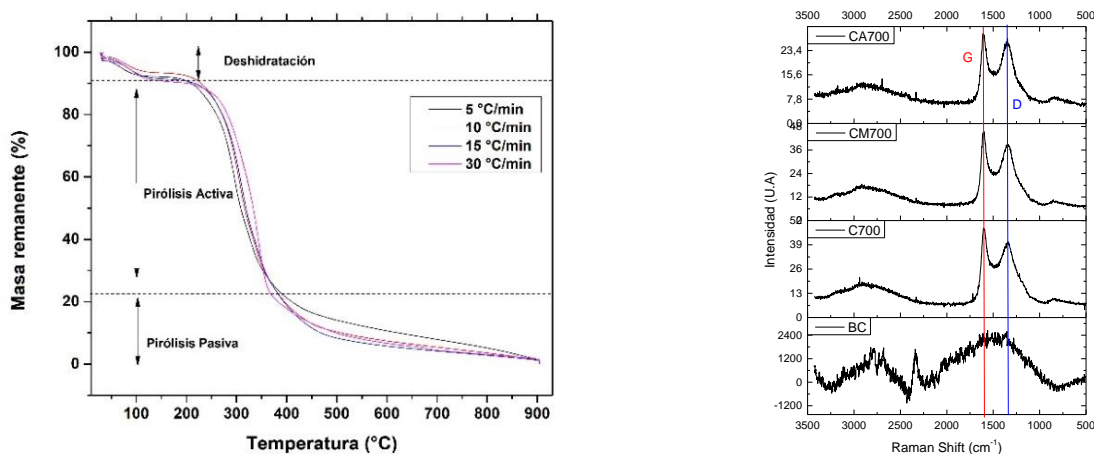


Figura 1. A) Análisis termogravimétrico de la biomasa 'BC' y los biocarbones obtenidos. **B)** Espectro RAMAN de BC y los biocarbones obtenidos a 700 °C.

Por otro lado, el análisis estructural Raman permitió evaluar el grado de ordenación gráfica y la generación de defectos en los materiales obtenidos tras los tratamientos térmicos (Figura 1B). La



relación ID/IG disminuyó notablemente tras la pirólisis a 400 °C (desde 1.13 en BC hasta 0.66 en C400), indicando un incremento significativo en el orden estructural. Sin embargo, al realizar modificaciones y activaciones en atmósfera de CO₂, esta relación aumentó nuevamente tanto a 400 °C (0.94 en CA400) como a 700 °C (0.95 en CA700), reflejando una reintroducción de defectos estructurales debidos a la oxidación parcial. Este balance entre orden estructural y defectos superficiales favorece la generación de interacciones específicas del tipo π-π. Además de los aspectos estructurales, el análisis FTIR evidenció una reducción progresiva de grupos oxigenados con el incremento de la temperatura en los tratamientos térmicos. Las bandas correspondientes al estiramiento O–H (3400 cm⁻¹) y C–H alifático (2920 cm⁻¹) disminuyeron notablemente, indicando procesos de deshidroxilación, descarboxilación y pérdida de cadenas laterales. Asimismo, la señal asociada a C=O/C=C (1600–1700 cm⁻¹) se atenuó, mientras que la banda de C–O (1050 cm⁻¹) permaneció parcialmente, particularmente en el material CM700. Estos hallazgos fueron complementados con titulaciones Boehm, las cuales evidenciaron un aumento en la concentración de grupos ácidos, especialmente fenólicos, tras la activación con CO₂. El análisis BET confirmó que el tratamiento térmico aumenta la porosidad y el área superficial. Mientras que los materiales carbonizados en atmósfera inerte (C400, C700) mostraron áreas bajas (3.80-6.40 m²/g), el CA700 activado con CO₂ alcanzó 583 ± 12 m²/g.

Tabla 1. Porcentajes de desulfuración de los biocarbonos obtenidos.

Muestra	BC	C400	C700	CM400	CM700	CA400	CA700
% Desulf.	4,2	4,1	1,7	1,8	19,2	8,6	79,8

La desulfuración adsorptiva se llevó a cabo mediante ensayos en batch, utilizando tubos de ensayo cerrados con combustible líquido dopado con benzotiofeno (303 mg kg⁻¹). Las muestras se mantuvieron en contacto con el adsorbente durante 24 h a temperatura ambiente, tras lo cual se centrifugaron para separar las fases. El sobrenadante se diluyó (1:10) y se analizó por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) con columna C18 y fase móvil acetonitrilo:agua (80:20 v/v). La cuantificación se realizó mediante una curva de calibración validada (rango 5–60 mg kg⁻¹), evaluando repetibilidad, reproducibilidad, límites de detección y estabilidad del analito, en concordancia con los requisitos regulatorios que establecen un máximo de 50 mg kg⁻¹ de azufre en combustibles. Se incluyeron blancos y muestras sin tratamiento para verificar posibles interferencias.

Los porcentajes de desulfuración obtenidos (Tabla 1) muestran un marcado efecto del tipo de tratamiento térmico sobre la eficiencia de remoción, destacándose la muestra CA700 con una reducción del 79,8 %. Para explorar las relaciones entre la eficiencia de desulfuración y las propiedades fisicoquímicas de los biocarbonos, se realizó un análisis de co-ocurrencia basado en correlaciones y técnicas multivariadas empleando el software R. Este análisis permitió identificar asociaciones lineales y patrones entre variables como acidez superficial, área específica y distribución de grupos funcionales. Los resultados evidenciaron correlaciones positivas significativas entre el porcentaje de desulfuración y la acidez total ($r = 0,97$), el área superficial ($r = 0,99$) y el contenido de grupos fenólicos ($r = 0,60$), así como una correlación negativa con los grupos carboxílicos ($r = -0,60$). Estos hallazgos sugieren que una mayor densidad de sitios ácidos y una mayor superficie accesible favorecen la adsorción de compuestos sulfurados, mientras que ciertos grupos oxigenados podrían presentar menor afinidad. En conjunto, los resultados confirman que los



materiales carbonosos obtenidos a partir de residuos de café constituyen una alternativa eficiente y sostenible para la desulfuración de combustibles líquidos.

Referencias

- (1) Kabe, T.; Qian, W. H.; Ogawa, S.; Ishihara, A. Mechanism of Hydrodesulfurization of Dibenzothiophene on Co-Mo/Al₂O₃ and Co/Al₂O₃ Catalyst by the Use of Radioisotope ³⁵S Tracer. *J. Catal.* **1993**, *143* (1), 239–248. <https://doi.org/10.1006/jcat.1993.1269>.
- (2) Chen, K.; Li, W.; Biney, B. W.; Li, Z.; Shen, J.; Wang, Z. Evaluation of Adsorptive Desulfurization Performance and Economic Applicability Comparison of Activated Carbons Prepared from Various Carbon Sources. *RSC Adv.* **2020**, *10* (66), 40329–40340. <https://doi.org/10.1039/D0RA07862J>.
- (3) Castillo, M. D. del; Fernández-Gómez, B.; Martínez Sáez, N.; Iriando-DeHond, A.; Mesa, M. D. *Coffee By-Products*; Royal Society of Chemistry (UK), 2019. <https://doi.org/10.13039/501100003329>.
- (4) Review on Recent Advances in Adsorptive Desulfurization. *Fuel Process. Technol.* **2021**, *214*, 106685. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106685>.



Extracción de Papaína del látex de la *Carica papaya* mediante Sistemas Bifásicos Acuoso asistida por ultrasonido

Uriel José Hernández López^a, Ángela Adriana Ruiz-Colorado^b

^{a,b} Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín
Email: ^a uhernandezl@unal.edu.co.

Resumen

Según Asohofrucol, Colombia es uno de los mayores productores de papaya en Latinoamérica, junto a Brasil y Perú. En 2022, la producción nacional fue de aproximadamente 130 mil toneladas, con Córdoba y Magdalena como los departamentos más destacados [1]. Arcos (2024) revela que el desperdicio promedio del fruto en las plazas de mercado es de aproximadamente 30 kg diarios, sin contar los residuos que se generan en las plantaciones [2]. El látex de papaya, una sustancia lechosa y blanca, es uno de los residuos generados en el cultivo de papaya y está presente en toda la planta, a excepción de las raíces. Está compuesto principalmente por agua, enzimas proteolíticas, alcaloides, polifenoles y lisozimas [3]. Sin embargo, una de las sustancias de mayor interés presente en el látex es la papaína, una enzima dentro del grupo de las hidrolasas que es capaz de hidrolizar los enlaces peptídicos de las proteínas. Esta enzima tiene aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética, textil y de productos de limpieza. Algunas investigaciones se han centrado en la extracción de la enzima del látex de papaya a nivel de laboratorio, utilizando técnicas como la precipitación, partición trifásica, cromatografía de afinidad, intercambio iónico, interacción hidrofóbica y filtración en gel, las cuales presentan limitaciones, como pérdida de actividad enzimática (con valores entre 0.5 y 200 U/mg) y son procedimientos complejos (en el caso de la cromatografía de afinidad). Además, los componentes del proceso (polímeros, copolímeros, fases estacionarias de columnas cromatográficas) son costosos, a lo que se suma la presencia de un pretratamiento y desalinización [4]. Los Sistemas Bifásicos Acuoso (ATPS) surgen como una alternativa eficiente al permitir la extracción, reduciendo el tiempo de procesamiento y preservando la actividad enzimática. Se ha demostrado su eficacia en la extracción de diversas enzimas, incluyendo lipasas, lacasas, xilanasas y elastasas, con factores de purificación y rendimientos superiores al 90% [4].

El trabajo tiene como objetivo desarrollar un proceso innovador y económico para la extracción y purificación de papaína a partir del látex de los residuos de papaya (>1000 U/mg), aprovechando de esta manera un subproducto que habitualmente se desecha. Para estandarizar la metodología, inicialmente se empleó el látex proveniente del fruto, con la proyección de extender el procedimiento a otras partes de la planta como semillas, hojas y tallos. El proceso contempla etapas claves: recolección y almacenamiento de la materia prima, estandarización de las condiciones de extracción e implementación de un diseño experimental central compuesto. La recolección se llevó a cabo en frutos inmaduros, haciendo incisiones de 2 mm de profundidad. El látex se recolectó en bolsas plásticas con cierre hermético, agregándole citrato de sodio, bisulfito de sodio y EDTA para garantizar la conservación de la papaína y se almacena a -20°C. En cuanto al procedimiento de extracción, para el ultrasonido se establecieron condiciones de operación: la potencia y el tiempo de sonicación. Para el DoE las variables independientes son el pH, la Temperatura y la concentración del citrato de sodio, manteniendo la concentración de PEG 6000 en 12% (los ensayos se hacen en un volumen de 25 mL), todas ajustadas a partir de referencias de la literatura. Con el fin de garantizar la



confiabilidad de los resultados, se realizaron pruebas preliminares de validación que permitieron ajustar las condiciones experimentales y establecer la secuencia de operación más adecuada. Además, todos los ensayos se llevaron a cabo por triplicado para asegurar la replicabilidad del procedimiento y reducir la variabilidad experimental. En la Figura 1 se muestra el montaje del proceso.

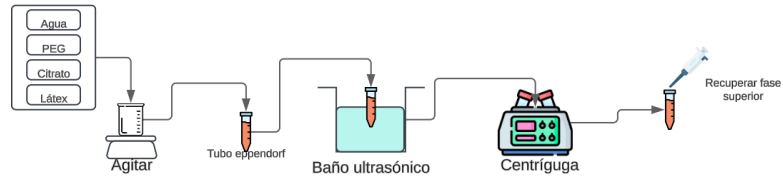


Figura 1. Ilustración del proceso de extracción de papaina (elaboración propia).

En la Figura 2 se muestran los resultados del DoE (obtenido con Minitab). Al realizar un análisis, se encontró que las condiciones óptimas de extracción son: pH de 4.3, temperatura de 40.3 °C y 21.4% de citrato de sodio. Posterior a la etapa de extracción, se tiene proyectado realizar etapas de ultrafiltración y secado que permita obtener una enzima con una actividad específica mayor a 1000 U/mg.

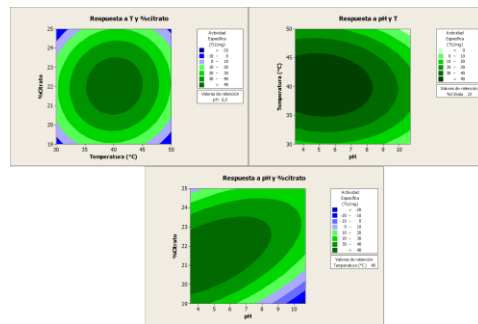


Figura 2. Resultados del diseño experimental (elaboración propia).

Referencias

- [1] J. D. Murcia, “Colombia está dentro del podio de los mayores productores de papaya en la región,” *Agronegocios*, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.agronegocios.co/agricultura/colombia-esta-dentro-del-podio-de-los-mayores-productores-de-papaya-en-la-region-3646138>
- [2] K. J. T. Arcos, *Valoración cuantitativa y cualitativa del desperdicio de papaya en el Mercado Municipal Cotocollao del Distrito Metropolitano de Quito: generación de datos sobre el desperdicio de papaya en el mercado de Cotocollao*, 2024.
- [3] V. Yogiraj, P. K. Goyal, C. S. Chauhan, A. Goyal, y B. Vyas, “Carica papaya Linn: an overview,” *International Journal of Herbal Medicine*, vol. 2, no. 5, pp. 1–8, 2014.
- [4] M. Iqbal, Y. Tao, S. Xie, Y. Zhu, D. Chen, X. Wang, et al., “Aqueous two-phase system (ATPS): an overview and advances in its applications,” *Biological Procedures Online*, vol. 18, pp. 1–18, 2016.



Síntesis de materiales carbonosos a partir de cáscara de cacao y orina para la remoción de acetaminofén en agua

Victor Galindo Acosta^{a,b*}, Efraim Serna Galvis^b, Alba Nelly Ardila^a

^a Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín

^b Universidad de Antioquia, Medellín

Email: ^a victor.galindo@udea.edu.co

La inadecuada disposición de residuos agroindustriales, como los del cacao, constituye un problema ambiental creciente. En Colombia, la producción de cacao aumenta sin que exista una estrategia clara para gestionar sus desechos. Estudios han demostrado el potencial de estos residuos para obtener materiales carbonosos aplicables en la remoción de contaminantes en agua [1]. Diversas investigaciones muestran que su capacidad carbocatalítica mejora mediante modificaciones superficiales, como la adición de metales, hidróxidos o dopaje con nitrógeno o azufre, seguidas de procesos pirolíticos controlados que incorporan grupos funcionales y rasgos morfológicos que favorecen la formación de especies reactivas de oxígeno.

La proliferación de contaminantes farmacológicos y la evidencia de sus efectos adversos en la salud y el ambiente hacen necesario explorar estrategias de eliminación en aguas. En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo sintetizar un material carbonoso funcionalizado con urea proveniente de orina y evaluar su capacidad para remover acetaminofén mediante la activación catalítica de peroximonosulfato (PMS).

Para la síntesis, se emplearon cáscaras de cacao (*Theobroma cacao*) del Bajo Cauca antioqueño, secadas, molidas y tamizadas. La biomasa se mezcló con orina sintética en proporción biomasa:urea de 2:1 (La orina sintética tiene 16% en masa), se agitó 24 h para favorecer la impregnación de nitrógeno y se sometió a pirólisis en atmósfera inerte a 800 °C (10 °C/min, 2 h). El sólido obtenido se denominó NDC (Nitrogen-Doped Carbon).

Se realizaron ensayos de remoción de acetaminofén (ACE, 10 mg/L) en sistemas batch con 50 mL de solución. Las pruebas se hicieron en tres modalidades: adsorción (10 mg de NDC), oxidación directa por PMS (500 µM, Sigma Aldrich) y carbocatálisis (NDC + PMS). El seguimiento se efectuó por HPLC (Shimadzu Nexera XS) siguiendo la metodología de Paredes-Laverde et al [2]. Se hicieron además ensayos con metanol como atrapador de especies radicalarias.

La Figura 1 muestra los resultados obtenidos. La adsorción y la oxidación directa con PMS presentaron baja eficiencia, lo que sugiere escasa afinidad entre los grupos funcionales de ACE y el material, además de poca susceptibilidad del contaminante a la oxidación por PMS sin activación. En contraste, el sistema carbocatalítico (NDC + PMS) logró una remoción significativamente mayor, asociada a la acción catalítica. Se calcularon sinergias de 4.25 a los 5 minutos y 4.58 a los 10 minutos, evidenciando la activación efectiva del PMS por el NDC.

Los resultados confirman que el NDC activa el PMS generando especies reactivas de oxígeno responsables de la degradación del contaminante, en concordancia con reportes previos [3]. Los ensayos con metanol no mostraron inhibición significativa, lo que sugiere un mecanismo no radicalario, posiblemente por oxígeno singlete o activación superficial [4].

Finalmente, se proponen ensayos con inhibidores específicos y caracterización del NDC (TGA, FTIR, XPS, BET y SEM) para correlacionar sus propiedades con la actividad catalítica, además de pruebas con otros contaminantes como ibuprofeno. A partir de los resultados parciales del presente trabajo



se puede constatar el potencial de fuentes lignocelulósicas y de nitrógeno residuales como alternativa sostenible en el tratamiento de aguas.

Resumen

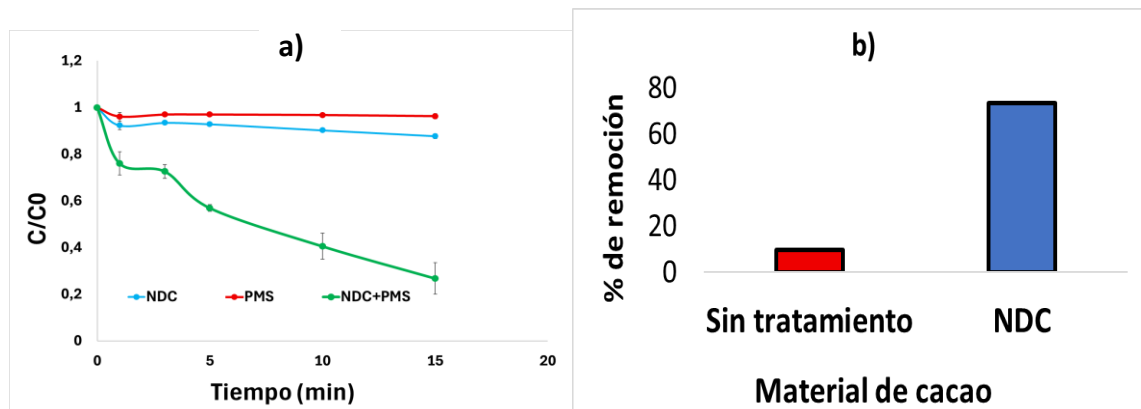


Figura 1. a) Degradación de acetaminofén a través de adsorción (NDC), oxidación directa (PMS) y carbocatálisis (NDS+PMS). b) Porcentajes de remoción mediante ensayos de scavenging con metanol a 15 minutos. b) Porcentajes de remoción de ACE a 15 minutos con material sin tratar y con NDC.

Referencias

- [1] R. Campos-Vega, K. H. Nieto-Figueroa, and B. D. Oomah, "Cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod husk: Renewable source of bioactive compounds," Nov. 01, 2018, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.tifs.2018.09.022.
- [2] M. Paredes-Laverde et al., "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*, vol. 30, no. 59, pp. 123616–123632, Nov. 2023, doi: 10.1007/s11356-023-30785-1.
- [3] Y. Zeng et al., "Role of superoxide radical and singlet oxygen in peroxymonosulfate activation by iron-doped bone char for efficient acetaminophen degradation," *Chemical Engineering Journal*, vol. 459, p. 141642, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.cej.2023.141642.
- [4] C. Quimbaya-Ñañez, E. A. Serna-Galvis, J. Silva-Agredo, L. Huerta, R. A. Torres-Palma, and Y. Ávila-Torres, "Mn-based material derived from industrial sawdust for the elimination of ciprofloxacin: Loss of antibiotic activity and toxicity via carbocatalysis assisted by ultrasound," *J Environ Chem Eng*, vol. 12, no. 2, p. 112015, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.jece.2024.112015.



Valorización de cáscaras de naranja para la extracción de limoneno y preparación de carbón activado como soporte de catalizadores

*Lic Amiris Perea Cuesta^{a,b}, Aída Luz Villa^a

^a Grupo Catálisis Ambiental, Universidad de Antioquia, Medellín

Email: ^blic.perea@udea.edu.co

Resumen

Los cítricos son uno de los frutos más comercializados alrededor del mundo, debido a sus beneficios para la salud. Por esta alta demanda, millones de toneladas de residuos de cáscaras cítricas son generadas anualmente, especialmente las cáscaras de naranja, mandarina y limón (más de 140 millones toneladas/año) [1]. Estos residuos son de interés por su aceite esencial, contenido de fibra dietética, polifenoles, pectina, y otros compuestos bioactivos con aplicaciones en la industria farmacéutica, cosmética y de alimentos. Adicionalmente, las cáscaras pueden utilizarse para obtener carbón activado [2], material con gran porosidad y aplicaciones como fuente de almacenamiento de energía, en la industria cosmética, farmacéutica, en remediación de aguas residuales y preparación de catalizadores [3]. El principal componente del aceite esencial es el limoneno, monoterpeneo que se utiliza como agente aromatizante en perfumes, productos corporales y de limpieza; adicionalmente, puede transformarse en productos de valor agregado como alcohol perílico, carveol, carvona, 1,2-epóxido de limoneno, entre otros, compuestos que son útiles en la industria farmacéutica por su actividad contra enfermedades como el cáncer de piel, colon, pulmón, páncreas y mama, entre otras [4]. En este trabajo se utilizaron cáscaras de naranja de cultivos de Antioquia, como fuente de aceite esencial y para la obtención de carbón activado. Inicialmente el material se clasificó de acuerdo con el grado de madurez como CN2, CN3 y CN6 según la norma NTC 4086. Las cáscaras se utilizaron para preparar carbón, para ello se activaron químicamente con $ZnCl_2$ 1.4 M por 24 h y KOH 1.98 M por 1 h y se denominaron como CN2-Zn, CN3-Zn, CN6-Zn y CN2-KOH, CN3-KOH, CN6-KOH; se utilizaron 10 g de biomasa con una relación biomasa:agente activante de 1:0.5 y 1:2. Los carbones activados se caracterizaron por FTIR, BET de un punto y TPD-NH₃. El aceite esencial se extrajo por destilación con arrastre con vapor (94 °C, 2 h) y por GC/MS se identificó que su contenido correspondía a 96% de limoneno, y en menor proporción la presencia de otros compuestos como α -pinene (0.7%), β -myrcene (0.6%) y α -phelandrene (2.7%). El análisis BET de un punto (Tabla 1) mostró que a mayor relación de agente activante, mayor es el área superficial y que con el grado de madurez 6 se obtuvo la mayor área BET. Las áreas superficiales más altas se obtuvieron con los carbones activados con $ZnCl_2$, con CN6-Zn(2) el área fue 896 m²/g. Las cáscaras de naranja están compuestas por celulosa, hemicelulosa y lignina, pero al madurar la cáscara de naranja, su contenido de celulosa y hemicelulosa tienden a disminuir y la lignina aumenta, siendo esta la que más contribuye a la formación del carbón activado [5]. Los análisis FTIR mostraron bandas a 3322 cm⁻¹ y 1654 cm⁻¹ relacionadas con el estiramiento de los grupos hidroxilos de la celulosa y el agua y bandas alrededor de 1734 cm⁻¹ correspondiente a la vibración de estiramiento de C=O derivada de grupos carbonilo (-C=O) y grupos funcionales carboxilo (-COO) de la hemicelulosa y la lignina. El análisis TPD-NH₃ mostró que los materiales preparados con mayor agente activante presentaron el mayor contenido de acidez y que fue mayor para el material CN6-Zn(2); se ha reportado que la presencia del Zn proporciona acidez tipo Lewis [1]. Los resultados de los análisis muestran que los residuos de las cáscaras de cítricos como la naranja, pueden ser utilizados como fuente de materiales con características adecuadas para ser utilizados en procesos



catalíticos; de los materiales sintetizados, el carbón obtenido con cáscaras de naranja de mayor madurez y obtenido con una relación 1:2 de biomasa:ZnCl₂ podría ser potencialmente adecuado para la transformación de limoneno.

Tabla 1. Resultados del análisis textural de los materiales.

Material	S _{BET} (m ² g ⁻¹)	TPD-NH ₃ (μmol/g)		
		Acidez baja (150-300 °C)	Acidez media (300-450 °C)	Acidez total
CN6-Zn(2.0)	896	597	43	640
CN6-KOH(2.0)	533	210	162	372
CN6-Zn(0.5)	630	24	0	24
CN6-KOH(0.5)	437	47	16	64
CN3-Zn(0.5)	143	163	185	348
CN3-KOH(0.5)	113	124	146	269
CN2-Zn(0.5)	367	283	270	553
CN2-KOH(0.5)	278	66	65	131

Referencias

- [1] Xu, G., Zhao, J., Shi, K., Xu, Y., Hu, H., Xu, X., ... & Pan, S. (2023). Trends in valorization of citrus by-products from the net-zero perspective: Green processing innovation combined with applications in emission reduction. *Trends in Food Science & Technology*, 137, 124-141.
- [2] Panwar, D., Panesar, P. S., & Chopra, H. K. (2021). Recent trends on the valorization strategies for the management of citrus by-products. *Food Reviews International*, 37(1), 91-120.
- [3] Seow, Y. X., Tan, Y. H., Mubarak, N. M., Kansedo, J., Khalid, M., Ibrahim, M. L., & Ghasemi, M. (2022). A review on biochar production from different biomass wastes by recent carbonization technologies and its sustainable applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(1), 107017.
- [4] Tomar, R., Jain, S., Yadav, P., Bajaj, T., Mohajer, F., & Ziarani, G. M. (2022). Conversion of limonene over heterogeneous catalysis: an overview. *Current organic synthesis*, 19(3), 414-425.
- [5] Cagnon, B., Py, X., Guillot, A., Stoeckli, F., & Chambat, G. (2009). Contributions of hemicellulose, cellulose and lignin to the mass and the porous properties of chars and steam activated carbons from various lignocellulosic precursors. *Bioresource Technology*, 100(1), 292-298.



Modelamiento del proceso de hidrólisis enzimática de residuos agrícolas de plátano (*Musa spp.*) y cacao (*Theobroma cacao L.*)

Diego F. Hinojosa Zambrano^{a*}, A. Adriana Ruíz-Colorado^b.

^{a, b} Universidad Nacional de Colombia, Medellín

Email: ^a dfhinojosaz@unal.edu.co

Resumen

En las últimas décadas, ha aumentado el interés en el aprovechamiento de biomasa residual para la generación de diversos productos en biorrefinerías, tales como bioetanol, jarabes y otros compuestos de valor agregado (Hute et al 2025). La producción de bioetanol puede originarse tanto de biomasa de primera generación —aquella de consumo humano directo— como de biomasa de segunda generación, proveniente de residuos agroindustriales (Legodi et al 2021). La biomasa lignocelulósica residual está compuesta principalmente por polisacáridos (celulosa y hemicelulosa) y lignina (Díaz-González et al 2022). Para obtener azúcares fermentables a partir de esta biomasa, es necesario aplicar un pretratamiento que reduzca el entrelazamiento entre los polisacáridos y la lignina (Singh et al 2014).

En este estudio, se caracterizó la biomasa de plátano (*Musa spp.*) y cacao (*Theobroma cacao L.*) proveniente de la región de Arauca (ver Tabla 1). Los resultados evidenciaron un alto contenido de celulosa, lo que indica su potencial para aplicaciones en bioprocesos como la producción de jarabes azucarados. Se empleó un pretratamiento con agua caliente para facilitar la despolimerización de la biomasa, bajo las siguientes condiciones: 121 °C, 15 psig, 20% p/v de carga de biomasa, durante 30 minutos. Los cambios estructurales en la superficie de la biomasa fueron evaluados mediante microscopía electrónica de barrido (SEM, por sus siglas en inglés). En la Figura 1 se presenta el diagrama de flujo de proceso (PFD, por sus siglas en inglés) correspondiente a la hidrólisis enzimática utilizando celulasa comercial Cellic CTec2 de Novozymes®.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de las biomásas lignocelulósica.

Materia prima Componente	Cacota	Plátano de rechazo	Raquis	Pseudotallo
Celulosa (%)	19.66 ^d , 28.25 ^c , 30.70 ^f	65.5 ^e	31.02 ^g , 32.60 ⁱ	34.5 ^a , 28.83 ^b
Hemicelulosa (%)	3.34 ^d , 16.75 ^c , 6.73 ^f	15.4 ^e	27.39 ^g	10.1 ^a
Lignina total (%)	21.6 ^d , 24.16 ^c , 45.23 ^f	0.8 ^e	10.05 ^g , 9.85 ⁱ	30.8 ^a , 19.39 ^b
Extractivos Totales (%)	23.1 ^d	NR	NR	14.2 ^a
Proteína (%)	8.4 ^d	6 ^e	NR	NR
Cenizas (%)	13 ^d , 9.07 ^c , 8.23 ^f	3.5 ^e	9.6 ^g , 11.4 ⁱ	9.7 ^a

bs: base seca, NR: no reporta

^a(Hernandez-Beltran et al., 2021) ^b(Sukmaningtyas, 2018) ^c(Sandesh et al., 2020) ^d(Campos-Vega et al., 2018) ^e(Nwabanne y Aghadi., 2018) ^f(Ortiz et al., 2020) ^g(Santa-María et al., 2013) ⁱ(Melgarejo y Urquizo, 2019)

El modelamiento de esta etapa se llevó a cabo en dos fases. La primera consistió en la recolección de datos experimentales (ensayos realizados por triplicado). Posteriormente, se desarrolló un



modelo semifísico de base fenomenológica (MSBF), utilizando como datos de entrada las concentraciones iniciales de reactivos, productos e inhibidores, así como constantes cinéticas e inhibitoras reportadas en la literatura. Los resultados obtenidos mediante simulación fueron validados con los datos experimentales y permitieron optimizar el modelo propuesto.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de residuos de plátano y cacao del departamento de Arauca (elaboración propia).

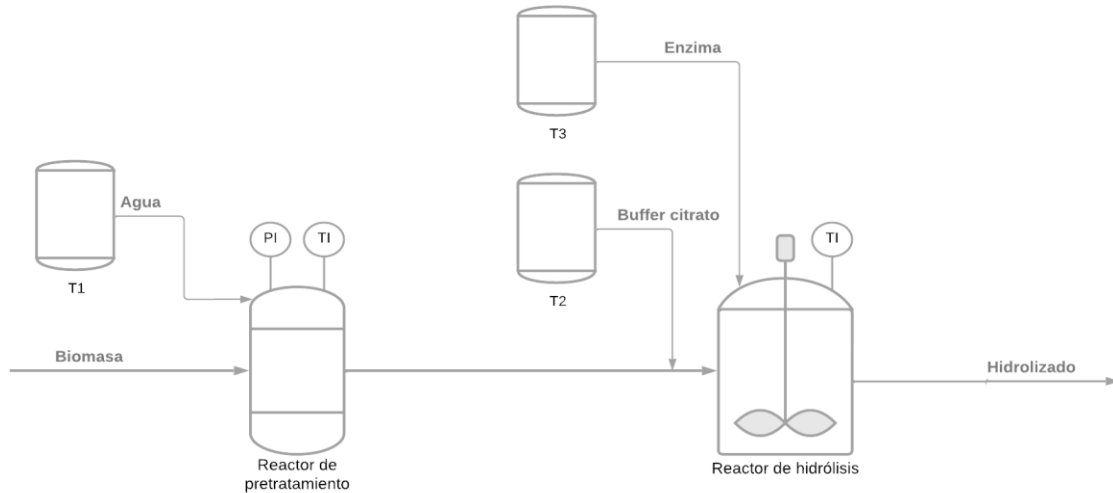


Figura 1. PFD del proceso de hidrólisis de la biomasa lignocelulósica (elaboración propia), T1, T2 y T3 son tanques de almacenamiento de reactivos empleados en el pretratamiento e hidrólisis, TI y PI, son indicadores de presión y temperatura.

Referencias

- Campos-Vega, R., Nieto-Figueroa, K. H., & Oomah, B. D. (2018). Cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod husk: Renewable source of bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 81, 172-184.
- Díaz-González, A., Pérez Luna, M. Y., Ramírez Morales, E., Saldaña-Trinidad, S., Rojas Blanco, L., De La Cruz-Arreola, S., ... y Robles-Ocampo, J. B. (2022). Assessment of the pretreatments and bioconversion of lignocellulosic biomass recovered from the husk of the cocoa pod. *Energies*, 15(10), 3544.
- Hernández-Beltrán, J. U., Fontalvo, J., & Hernández-Escoto, H. (2021). Fed-batch enzymatic hydrolysis of plantain pseudostem to fermentable sugars production and the impact of particle size at high solids loadings. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 11(6), 2975-2982.
- Hute, T., Sanusi, I. A., Kana, E. B. G., Meyer, E. L., & Sewsynker-Sukai, Y. (2025). Comparative assessment of autoclave-and microwave-facilitated seawater pretreatments for the enhancement of sugar recovery from banana pseudostem. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 15(8), 12565-12579.
- Legodi, L. M., LaGrange, D. C., Jansen van Rensburg, E. L., y Ncube, I. (2021). Enzymatic hydrolysis and fermentation of banana pseudostem hydrolysate to produce bioethanol. *International journal of Microbiology*, 2021(1), 5543104.



Melgarejo Torres, L. K., & Urquiza Rosado, A. C. (2019). *Influencia de la temperatura y concentración de ácido sulfúrico en la hidrólisis ácida de raquis del banano, variedad musa cavendish, para la obtención de bioetanol por saccharomyces cerevisiae atcc 4126.*

Nwabanne, J., & Aghadi, C. (2018). Statistical modelling of enzymatic hydrolysis of banana peels for bioethanol production. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 28(4), 1-14.

Ortiz, J. E., Mejía, Y., González, D. E., García-Alzate, L. S., & Cifuentes-Wchima, X. (2020). Alternativa de biorremediación a partir de residuos de cacao en la obtención de hongos *Pleurotus ostreatus* con la implementación de un análisis multicriterio. *Revista Ion*, 33(1), 67-77.

Sandesh, K., Shishir, R. K., & Rao, C. V. (2020). Optimization and comparison of induction heating and LPG assisted acid pretreatment of cocoa pod for ABE fermentation. *Fuel*, 262, 116499.

Santa-Maria, M., Ruiz-Colorado, A. A., Cruz, G., & Jeoh, T. (2013). Assessing the feasibility of biofuel production from lignocellulosic banana waste in rural agricultural communities in Peru and Colombia. *Bioenergy Research*, 6(3), 1000-1011.

Singh, R., Shukla, A., Tiwari, S., & Srivastava, M. (2014). A review on delignification of lignocellulosic biomass for enhancement of ethanol production potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 713-728.

Sukmaningtyas, R. P. (2018). Pretreated of banana pseudo-stem as raw material for enzymatic hydrolysis and bioethanol production. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 154, p. 01035). EDP Sciences.



Hidrogel a base de almidón extraído de subproductos de aguacate y *Hedychium coronarium* para la encapsulación y liberación controlada de nutrientes

Paola Andrea Díaz Gómez^a, Daniel Alberto Sánchez^a, Juan Carlos Caicedo^a, Aída Luz Villa^a

^a Grupo Catálisis Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín

Email: aida.villa@udea.edu.co

Palabras clave: hidrogeles, almidón, residuos agroindustriales, liberación controlada de nutrientes

Resumen

Se estima que para el 2050 el sector agrícola deberá aumentar 60% para cubrir la demanda de la población. Sin embargo, el excesivo e ineficiente uso de fertilizantes ha mostrado varias desventajas incluyendo pérdidas económicas, incremento de precios de alimentos, y contaminación ambiental [1]. Adicionalmente, el aumento de residuos agroindustriales representa un riesgo para el ambiente; se precisa pues pasar a una agroindustria más limpia, eficiente y sostenible. En este proyecto se utilizaron subproductos del aguacate, y del rizoma de la planta invasora *Hedychium coronarium* (HC) para la producción de hidrogeles en los cuales se encapsularon nutrientes que fueran liberados con velocidad controlada. Se extrajo almidón de la semilla de aguacate, y del rizoma de HC antes y después de la extracción del aceite esencial (AE) [2]; se determinó la pureza del almidón extraído siguiendo la metodología reportada [3]. Se encontró que el contenido de almidón disminuyó en el HC después de extraer el AE y que estas muestras contenían mayor cantidad de almidón que la semilla de aguacate.

Los hidrogeles se sintetizaron dispersando el almidón en agua tipo III a temperatura ambiente; posteriormente, la mezcla se calentó a 75 °C durante 30 minutos bajo agitación constante, se añadió ácido cítrico con agente reticulante (AR) y se continuó agitación por 1 h. Finalmente, se vertió la mezcla en moldes y se secó en un horno a 50 °C durante 48 h [1]; los hidrogeles se prepararon adicionando cloruro de amonio (N) antes (a) o después (d) de adicionar el AR. Mediante la prueba de la bolsa de té se determinó la capacidad de absorción de agua y la fracción de gel de los hidrogeles, la cual mide la fracción no soluble del hidrogel [4]; un valor alto asegura que el hidrogel no se disuelva rápidamente, permitiendo una liberación lenta y sostenida de los nutrientes y un valor de fracción gel bajo indica una mayor fracción soluble y mayor degradabilidad. La Tabla 1 muestra que la absorción de agua en general disminuyó con la adición de nutrientes, excepto para la muestra HC-sinAE. Se observa un aumento de absorción de agua para los hidrogeles con adición de cloruro de amonio antes del AR. En general, el porcentaje de fracción gel disminuyó con la adición de nutrientes.

Para evaluar la cinética, se escogieron las muestras preparadas con aguacate (A-N-aAR, A-N-dAR) y con HC después de extraer el AE (HC-sinAR-N-aAR, HC-sinAE-N-dAR). En las pruebas cinéticas la concentración de nitrógeno se determinó por titulación de amonio usando la metodología descrita en la norma NTC 4150 [1]. Se encontró que, para la muestra de aguacate, la liberación de nutrientes ocurre más rápido cuando los nutrientes se adicionan antes del AR (A-N-aAR), liberándose



completamente el nutriente en 2 h; con A-N-dAR la máxima liberación ocurre a las 72 h. La velocidad de liberación del nutriente fue la misma para las dos muestras HC, liberándose completamente a las 24 h.

Tabla 1. Resultados prueba de absorción de agua y fracción gel

Hidrogel	Absorción de agua (%)	Fracción gel (%)
A	860	49
A-N-aAR	608	30
A-N-dAR	413	38
HC-AE	311	44
HC-AE-N-aAR	235	31
HC-AE-N-dAR	-37	13
HC-sinAE	164	54
HC- sinAE-N-aAR	691	28
HC- sinAE-N-Dar	197	31

Referencias

- [1] A.F. Chamorro, M. Palencia, Á.A. Arrieta. *Gels* 10 (2024).
- [2] Y. Olaya. Trabajo de grado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Antioquia (2024).
- [3] P. Bahdanovich, K. Axelrod, A.Y. Khlystov, V. Samburova. *Analytica* 3 (2022) 394–405.
- [4] N. Jaramillo-Quiceno, S. Rueda-Mira, J.F.S. Marín, C. Álvarez-López. *Journal of Polymer Research* 30 (2023).



Aplicación de pretratamientos enzimáticos y de ultrasonido para la extracción de cafeína con CO₂ supercrítico en pulpa de café

Juan Diego Torres De La Ossa^a, Edith Cadena Chamorro^b, Luz Marina Ocampo Carmona^c

^{a,b,c} Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia,

Email: ^a jdtorresde@unal.edu.co

Palabras clave: pulpa de café; cafeína; extracción con CO₂ supercrítico; pretratamiento enzimático; biomasa lignocelulósica; metodología de superficie de respuesta; Viscozyme; Cellic CTec2.

Resumen

Colombia ocupa el tercer lugar en la producción global, con una producción en el año 2022 de 11,1 millones de sacos de 60 kg. En el proceso de beneficio del café se generan residuos que, de no ser tratados de la manera correcta pueden terminar contaminando fuentes de agua y deteriorar ecosistemas [1]. La cafeína es el compuesto de mayor interés en el café, representando el 74% de su uso en alimentos, 25% en la industria farmacéutica [2] y el 1% en la industria química [3].

Para extraer compuestos bioactivos en matrices vegetales se emplean técnicas de extracción convencionales como disolventes, calor y agitación [4]. Una alternativa avanzada es el uso de fluidos supercríticos, siendo el dióxido de carbono el más común, aprobado por la FDA y la EFSA para su uso seguro en aplicaciones alimentarias y farmacéuticas [5]. Existen técnicas no convencionales de extracción como los tratamientos enzimáticos y de ultrasonido, que son ampliamente estudiados y pueden acoplarse a la extracción con fluidos supercríticos, pues facilitan la ruptura de una compleja red de polisacáridos para liberar las moléculas bioactivas, lo que mejora la permeabilidad de dichas estructuras al disolvente.

En esta investigación se utilizó pulpa de café variedad Castillo, cultivada en La Paz, Cesar. Se recolectaron granos maduros, de forma manual. La pulpa se molió a 400–600 µm; presentó humedad promedio 7,43% y densidad aparente 311,25 kg/m³. La composición lignocelulósica se determinó mediante TAPPI 222 om-02. Se aplicó un pretratamiento enzimático con dos formulaciones, Viscozyme y Cellic CTec2, para descomponer celulosa y hemicelulosa. Se evaluaron diferentes relaciones sustrato/enzima a 50°C, 3 horas y agitación a 150 rpm. Se determinó que la dosis óptima de enzima es de 21,33 U/g, siendo la enzima Cellic CTec2 la seleccionada por su mayor influencia en la liberación de cafeína.

Se evaluó la aplicación secuencial ultrasonido y enzimas como pretratamiento sobre la matriz lignocelulósica de la pulpa de café. No se observó efecto significativo del ultrasonido en la liberación de cafeína bajo las condiciones ensayadas, por lo que se descartó en fases posteriores. Se ejecutó un diseño central compuesto (DCC) con factores: Temperatura [°C], Presión [bar] y Dosis enzimática [U/g]. Matriz con 6 puntos centrales, 8 factoriales y 6 axiales. Variables respuesta: i) Rendimiento de extracto seco [%]; ii) Cafeína en pulpa [mg cafeína/g de pulpa seca]. Resultados resumidos en la Tabla 1.

Rendimiento de extracto seco (%):

$$\text{Rendimiento} = \frac{m_{\text{extracto seco}}}{m_{\text{pulpa seca inicial}}} \times 100$$



Cafeína en pulpa (mg/g de pulpa seca):

$$\text{Cafeína} = \frac{m_{\text{cafeína extracto}}}{m_{\text{pulpa seca inicial}}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{g}} \right]$$

Tabla 1. Resultados matriz experimental DCC.

Respuesta	Promedio	Máximo	Mínimo
Rendimiento [%]	3,45	4,87	0,92
Cafeína en pulpa [mg/g pulpa]	3,36	4,92	1,50

Para la respuesta Rendimiento [%] el modelo tiene un desempeño alto con un R^2 (84,12%) que explica la mayor parte de la variabilidad de los datos. El valor del R^2_{ajustado} (78,01%) sugiere que el modelo no está sobreajustado y mantiene una buena capacidad explicativa. Los factores Temperatura, DosisxDosis y TempxDosis presentan un valor-p < 0,05 indicando que tuvieron significancia estadística. La presión no fue un factor significativo para esta respuesta, por lo que se eliminó del modelo. Para la respuesta Cafeína en pulpa [mg/g pulpa] el modelo un desempeño bueno, con un R^2 (84,44%) que explica la mayor parte de la variabilidad de los datos. El valor del R^2_{ajustado} (70,61%) sugiere que el modelo mantiene una buena capacidad explicativa. Los factores Dosis, Presión, DosisxPresión, TemperaturaxDosis y Dosisxdosis presentan un valor-p < 0,05 indicando que tuvieron significancia estadística y por lo tanto explican en su mayoría la variación del rendimiento. Si bien la Temperatura no supera el nivel de significancia, su valor-p cercano indica que tiene influencia sobre la respuesta. La eficiencia del proceso está gobernada por Temperatura y Dosis enzimática. La Presión no afecta el Rendimiento en el rango estudiado y el ultrasonido, como pretratamiento de la matriz lignocelulósica, no aportó bajo las condiciones evaluadas. Los modelos presentan buen ajuste, lo que respalda concentrar la optimización en Temperatura y Dosis para maximizar el rendimiento de extracción y reducir la cafeína residual en pulpa.

Referencias

- [1] F. M. Damatta, C. P. Ronchi, M. Maestri, and R. S. Barros, "Ecophysiology of coffee growth and production," *Braz. J. Plant Physiol*, vol. 19, no. 4, pp. 485–510, 2007, doi: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400014>.
- [2] V. Kumar and G. A. Ravishankar, "Current trends in producing low levels of caffeine in coffee berry and processed coffee powder," *Food Reviews International*, vol. 25, no. 3, pp. 175–197, Jul. 2009, doi: [10.1080/87559120802458099](https://doi.org/10.1080/87559120802458099).
- [3] M. J. Arnaud, "The pharmacology of caffeine," 1987. doi: [10.1007/978-3-0348-9289-6_9](https://doi.org/10.1007/978-3-0348-9289-6_9).
- [4] M. Bakherad, A. Keivanloo, E. Moradian, A. H. Amin, R. Doosti, and M. Armaghan, "Practical and efficient synthesis of tetrahydrobenzo[b]pyran using caffeine supported on silica as an ionic liquid solid acid catalyst," *Journal of the Iranian Chemical Society*, vol. 15, no. 12, pp. 2811–2819, Dec. 2018, doi: [10.1007/s13738-018-1468-y](https://doi.org/10.1007/s13738-018-1468-y).
- [5] J. Azmir et al., "Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review," *J Food Eng*, vol. 117, no. 4, pp. 426–436, 2013, doi: [10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014).
- [6] M. Herrero, J. A. Mendiola, A. Cifuentes, and E. Ibáñez, "Supercritical fluid extraction: Recent advances and applications," Apr. 2010. doi: [10.1016/j.chroma.2009.12.019](https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.12.019).



Síntesis y caracterización de solventes eutécticos profundos a base de cafeína: aprovechamiento de residuos agroindustriales del café

Manuel Felipe Torres-Perdomo^a, Luz M. Ocampo-Carmona^b, Yazmin Yaneth Agámez-Pertuz^c,
Eduard Ricardo Romero-Malagon^d

^{a,b} Universidad Nacional de Colombia, Medellín, mftorrespe@unal.edu.co

^{c,d} Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, yyagamezp@unal.edu.co

Resumen

Los solventes eutécticos profundos (DES) son mezclas líquidas formadas por un aceptor y un donador de enlaces de hidrógeno que presentan un punto de fusión inferior al de sus componentes individuales. Su bajo costo, fácil preparación, baja toxicidad y biodegradabilidad los convierten en alternativas sostenibles frente a disolventes orgánicos convencionales en procesos de catálisis, extracción y electroquímica [1].

En este trabajo se sintetizaron y caracterizaron DES ternarios formulados con clorhidrato de cafeína (CafCl) obtenido de fuentes comerciales (CafCl_{com}) y a partir de cascarilla de café (CafCl_{ext}), un residuo crítico del beneficio del café [2], [3]. El CafCl se obtuvo por protonación de cafeína con HCl generado in situ y se verificó por FTIR, TGA y RMN. Posteriormente, se formularon mezclas CafCl:ZnCl₂:ETG (0.05–0.25:1:2) y se determinaron propiedades como viscosidad (20–100 °C), densidad (25°C) y comportamiento térmico, ajustando los datos reológicos a los modelos de Arrhenius y Vogel–Fulcher–Tammann (VFT) [4].

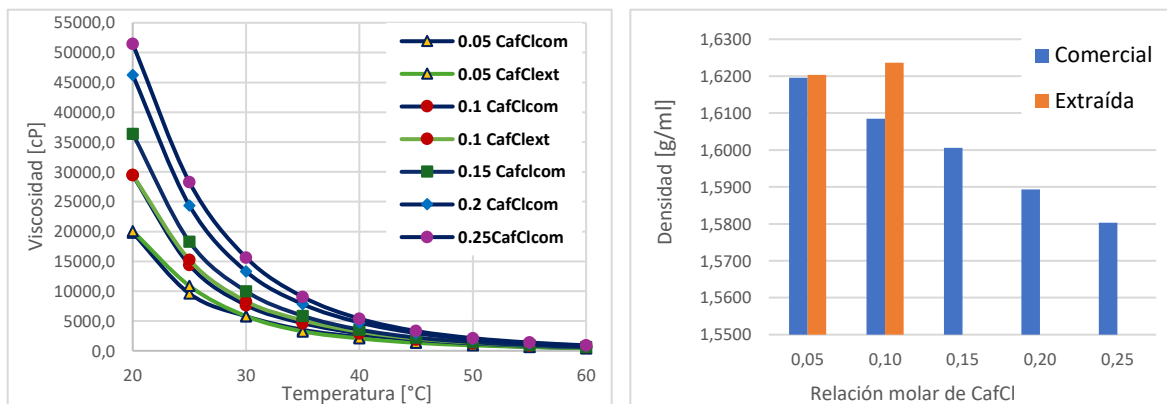


Figura 1. Efecto de la relación molar de CafCl en el comportamiento reológico y densidad a 20° de los DES ternarios

Los resultados mostraron que la viscosidad aumenta con la fracción molar de CafCl, superando los 50,000 cP a 20 °C para la relación 0.25:1:2, mientras que la densidad disminuyó levemente (1.6200 a 1.5750 g/mL) (ver **Figura 1**). El modelo VFT describió mejor el comportamiento, con un incremento en la energía de activación de 73.9 a 81.8 kJ/mol, lo que refleja una red de enlaces más estructurada. Estos valores son superiores a los reportados en sistemas ZnCl₂:ETG y otros DES similares [5]. Respecto al uso de clorhidrato de cafeína obtenido a partir de residuos del café, se demostró que el proceso de protonación mediante burbujeo de HCl en solución etanólica no solo fue exitoso, sino



que también permitió una purificación adicional del compuesto, como se evidenció mediante los análisis FTIR y RMN (ver **Figura 2**). Además, se logró formular un DES empleando CafCl derivado de extracto de cafeína, cuyas propiedades reológicas presentaron diferencias menores al 10 % en viscosidad y menos del 1 % en densidad (ver **Figura 1**), lo que confirma que el uso de residuos como fuente de cafeína no afecta significativamente las propiedades físico-químicas del sistema. Estos resultados respaldan la viabilidad técnica del uso de cafeína recuperada a partir de residuos del beneficio del café en la síntesis de DES, lo que representa un avance importante en el aprovechamiento de subproductos y en la promoción de estrategias de economía circular para el diseño de solventes sostenibles.

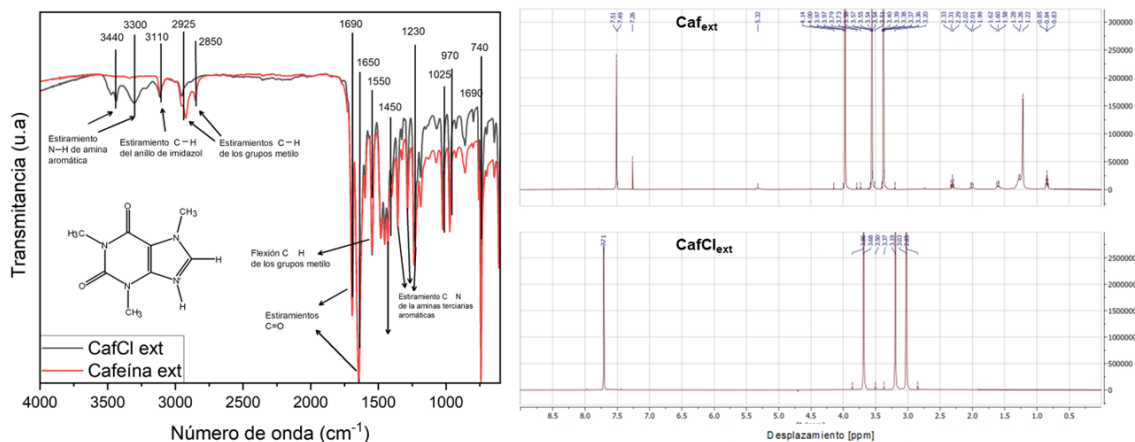


Figura 2. Caracterizaciones FTIR y ¹H RMN de la cafeína extraída y del producto de la protonación.

Referencias

- B. B. Hansen *et al.*, “Deep Eutectic Solvents: A Review of Fundamentals and Applications,” Feb. 10, 2021, *American Chemical Society*. doi: 10.1021/acs.chemrev.0c00385.
- [N. Rodríguez Valencia, J. R. Sanz Uribe, C. E. Oliveros Tascón, and C. A. Ramírez Gómez, “Beneficio del café en Colombia,” 2015.
- L. F. Restrepo Montoya and G. Villa Deossa, “ESTRATEGIAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA PULPA DE CAFÉ EN LAS FINCAS CAFETERAS DEL MUNICIPIO DE ANDES, ANTIOQUIA.” Trabajo de Grado, Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria, Medellín, 2020.
- A. F. Bouarab, J. P. Harvey, and C. Robelin, “Viscosity models for ionic liquids and their mixtures,” Jan. 14, 2021, *Royal Society of Chemistry*. doi: 10.1039/d0cp05787h.
- A. P. Abbott, J. C. Barron, K. S. Ryder, and D. Wilson, “Eutectic-based ionic liquids with metal-containing anions and cations,” *Chemistry - A European Journal*, vol. 13, no. 22, pp. 6495–6501, 2007, doi: 10.1002/chem.200601738.



Producción de biocarbón a partir de cascarilla de arroz mediante carbonización hidrotermal

Yulied Rivera Quevedo^a, Inés Osorio-Giraldo^b, Leidy Hoyos Giraldo^c, Kellys Salcedo Hurtado^b, Sergio Valencia Hurtado^b

^a Estudiante de Ingeniería Ambiental, Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria-TdeA, Medellín, Colombia.

^b Docente Facultad de Ingeniería, Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria-TdeA, Medellín, Colombia.

^c Docente Departamento de Ciencias Básicas, Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria, Medellín, Colombia.

Email: yulied.rivera@correo.tdea.edu.co

Resumen

La obtención de biochar (BC) a partir de cascarilla de arroz (CA) mediante síntesis hidrotermal representa una estrategia eficiente y sostenible para el aprovechamiento de residuos agroindustriales. La CA, rica en lignina, celulosa y sílice, fue sometida a lavado, secado, molienda y caracterización fisicoquímica previa a la carbonización. Para la síntesis hidrotermal, se utilizaron dos relaciones masa CA/volumen agua (1/10 y 1/20) y dos tiempos de residencia (24 y 48 h), usando un reactor autoclave con capacidad de 250 mL a 200 °C, y con presión autógena de 3.0 MPa, se emplearon 160 mL de agua y 16 g o 8 g de CA, según la relación establecida. Los ensayos se realizaron por duplicado.

Los análisis termogravimétricos (TGA) mostraron la descomposición térmica de componentes lignocelulósicos y cambios estructurales asociados a la carbonización [1]. El análisis FTIR de los BC sintetizados demostró cambios significativos en su superficie. La intensificación de la banda a 3400 cm⁻¹ (-OH) en muestras 1/10-48h-CA, se evidencia una mayor hidratación y una posible hinchazón [2]. Una leve reducción a 2900 cm⁻¹ (C-H) evidencia la eliminación de compuestos o reordenamientos. Aumentos prominentes de las bandas entre 1730-1600 cm⁻¹ (C=O) en tratamientos prolongados (48h) podrían significar exposición de grupos carbonilo por descomposición superficial. Finalmente, mayor variabilidad y definición entre 1300-1000 cm⁻¹ (C-O/C-O-C) en muestras tratadas indican reorganización de enlaces [3]. La microscopía electrónica de barrido (SEM) mostró cavidades irregulares que se incrementan con un mayor tiempo de síntesis (Figura 1).

La síntesis hidrotermal de BC a partir de CA demostró ser una técnica eficaz para la producción de un material con alta porosidad y funcionalización superficial. El resultado óptimo se obtuvo con una relación biomasa:agua de 1/10 y un tiempo de residencia de 48 h, condiciones que permitieron generar un BC con una alta área superficial de 381 m².g⁻¹ y un elevado promedio de mesoporos (4.9-5.6 nm). Esta optimización en las propiedades físicas y superficiales le otorga un gran potencial para la inmovilización de microorganismos como *Trichoderma* spp., cuyo establecimiento depende de matrices porosas con grupos funcionales accesibles[4]. De esta forma, la caracterización espectroscópica se vincula directamente con el potencial de aplicación del material en la biorremediación y la bioestimulación de suelos.



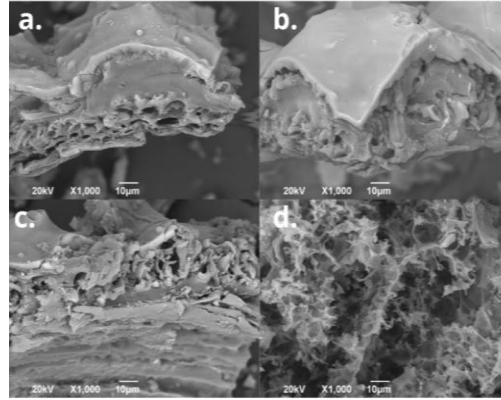


Figura 1. Microscopía electrónica de barrido (a) 1/10-24h-CA; (B) 1/10-48h-CA; (c) 1/20-24h-CA; (d) 1/20-48h-CA.

Palabras clave: Residuos agroindustriales, área superficial, mesoporos, mejora de suelos, funcionalización superficial, biorremediación.

Referencias

- [1] Kappel, L., Yu, L., Escobar, C., Marcianò, D., Srivastava, V., Bulone, V., & Gruber, S. (2024). A comparative cell wall analysis of *Trichoderma* spp. confirms a conserved polysaccharide scaffold and suggests an important role for chitosan in mycoparasitism. *Microbiology Spectrum*, 12(8). <https://doi.org/10.1128/spectrum.03495-23>
- [2] Yang, H., Kim, H., Park, H., Lee, B., & Hwang, T. (2006). Water absorption behavior and mechanical properties of lignocellulosic filler–polyolefin bio-composites. *Composite Structures*, 72(4), 429–437. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2005.01.013>
- [3] Shoaib, Amna. (2013). *Trichoderma harzianum*: Adsorption, desorption, isotherm and FTIR studies. *Journal of Animal and Plant Sciences*. https://www.researchgate.net/publication/264347335_Trichoderma_harzianum_Adsorption_desorpti_on_isotherm_and_FTIR_studies
- [4] Zin, N. A., & Badaluddin, N. A. (2020). Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(2), 168–178. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2020.09.003>



Evaluación de la capacidad antifúngica de aceites esenciales, vegetal y emulsiones formuladas para el control de antracnosis postcosecha en mango (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) en el departamento del Cesar

María Fernanda Núñez Sierra^{a*}, Diego Camilo Durán García^a, Juan Guillermo Cubillos Hinojosa^b.

^aUniversidad Nacional de Colombia - Sede de La Paz (Semillero REDVAR, Semillero de Bioprospección de Especies Vegetales), km 9 vía Valledupar – La Paz, Cesar, Colombia.

^bCentro de Investigación Agrosavia- Sede Motilonia, Km 5 vía Becerril, Agustín Codazzi, Cesar, Colombia.

Email: ^a mnunezs@unal.edu.co

Palabras clave: mango, antracnosis, emulsiones, aceites esenciales, aceite vegetal

Resumen

Las enfermedades fúngicas en postcosecha, como la antracnosis, causada por *Colletotrichum spp.*, representan una limitante significativa para la comercialización de mango (*Mangifera indica* L.), con pérdidas que pueden superar el 40 % de la producción en regiones como el departamento del Cesar, Colombia [1]. Ante la preocupación por los impactos ambientales del uso de fungicidas sintéticos y la resistencia de patógenos, se ha incrementado la búsqueda de alternativas sostenibles que permitan reducir el uso de agroquímicos [2].

En este estudio se evaluó la capacidad antifúngica de aceites esenciales de orégano (*Origanum vulgare*), eucalipto (*Eucalyptus sp.*) y aceite vegetal de neem (*Azadirachta indica*), aplicados en concentraciones de 2000, 4000 y 6000 ppm diluidos en dimetilsulfóxido (DMSO). También, se evaluaron dos emulsiones (O/W) que incluyeron aceites esenciales y vegetales, diluidas (1:10 en agua destilada estéril) y concentradas. Los ensayos se realizaron mediante el método de difusión en disco sobre medio PDA suplementado con cloranfenicol, mediante la aplicación de 10 µL a cada tratamiento sobre discos de papel filtro estériles de 6 mm y la medición del crecimiento fúngico a intervalos de 24, 48, 72 y 96 horas tras la incubación a 25 ± 2 °C [3]. Se incluyeron controles negativos con agua destilada estéril y DMSO al 1 %, y un control positivo con la formulación comercial Antrasin®. Las emulsiones y aceites evaluados han demostrado en estudios previos capacidad para alterar la permeabilidad de membranas y la funcionalidad celular de hongos fitopatógenos [4,5], y en esta evaluación se observaron variaciones en su eficacia en función de la concentración y el tiempo de exposición. En general, las formulaciones concentradas, mostraron un efecto inhibitorio más sostenido frente al crecimiento micelial, mientras que las emulsiones diluidas tendieron a perder efectividad con el tiempo e incluso favorecieron el desarrollo fúngico en ciertos casos. Estos resultados respaldan el potencial de aceites esenciales y formulaciones naturales como herramientas para el manejo postcosecha de la antracnosis en mango, y contribuye a estrategias de producción agrícola más sostenibles y alineadas con la demanda de productos libres de residuos químicos [5].



Referencias

- [1] Yuan, Y., Zhou, L., Duan, J., & Li, J. (2024). Rosemary essential oil inhibits *Colletotrichum gloeosporioides*: A study using disk diffusion method. *Forests*, 15(2), 377. <https://www.mdpi.com/1999-4907/15/2/377>
- [2] Nguetack, J., Dongmo, J. B. L., Dakole, C. D., Leth, V., & Vismer, H. F. (2017). Antifungal properties of selected essential oils and their main components against *Aspergillus* spp. and *Fusarium* spp. *Plant Pathology*, 66(3), 375–387. <https://doi.org/10.1111/ppa.12549>
- [3] Membranes. (2021). Advances in essential oil-loaded systems for antifungal food preservation. *Membranes*, 11(9), 719. <https://www.mdpi.com/2077-0375/11/9/719>
- [4] Vilela, E. S. D., Nascimento, F. C. M., Barbosa, J. M., & Fernandes, T. A. (2024). Essential oils on the control of fungi causing postharvest diseases in mango. *Brazilian Journal of Microbiology*, 55, 689–698. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10920554/>
- [5] *Frontiers in Microbiology*. (2021). Mechanisms of essential oils: Membrane permeability and ion disruption. *Frontiers in Microbiology*, 12, 711092. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2021.711092/full>



Valorización de residuos de hojas de guayaba como fitobiótico en dietas de pollos de engorde: Un enfoque de economía circular

Paulina Castro Correa^a, **Luz Estella Vasquez D.**^a, **Hader Ivan Castaño P.**^a, **Juan Carlos Blandon M.**^{*a}

^a *Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín.*

**Email: jcblandon@elpoli.edu.co*

Resumen

La valorización de residuos orgánicos provenientes de podas en cultivos de guayaba (*Psidium guajava*) representa una estrategia innovadora para promover la economía circular en la agroindustria, transformando subproductos agrícolas en recursos de alto valor [1]. El propósito de este estudio, fue evaluar el residuo de las podas de hojas de guayaba (GLM) en forma de harina como fitobiótico en un diseño experimental que constó de dietas con y sin GLM, para 135 pollos de engorde machos de la línea genética Cobb, asignados aleatoriamente a 5 tratamientos, con 9 réplicas por tratamiento (3 aves por réplica) durante 38 días, utilizando tratamientos con inclusiones de 1%, 1.5% y 2% de GLM, comparados con controles con y sin antibióticos ni promotores de crecimiento.

Se evaluaron parámetros productivos como consumo de alimento, ganancia de peso media diaria, tasa de conversión alimenticia, digestibilidad de nutrientes y morfología intestinal.

Para el análisis estadístico se realizó un ANOVA con prueba de Tukey ($P < 0.05$) para comparar tratamientos, utilizando medias de réplicas.

Los resultados demostraron que la GLM mejoró significativamente la digestibilidad de nutrientes, con incrementos en proteína cruda (45-52%, $P < 0.0002$) y fósforo (37-56%, $P < 0.0001$) (Figura 1), además de optimizar la morfología intestinal (aumento de vellosidades: 22.6-27, $P = 0.02$). Estos efectos se traducen en una mejor tasa de conversión alimenticia (1.55-1.69 vs. 1.76 en control con antibiótico, $P < 0.007$), evidenciando el potencial fitobiótico de las hojas de guayaba [2], [3]. El uso de residuos de podas de guayaba, ricos en compuestos bioactivos con propiedades antimicrobianas y antioxidantes [4], reduce la dependencia de antibióticos en avicultura. La transformación de estos residuos en harina de hojas de guayaba (GLM) minimiza desechos y el impacto ambiental, según el análisis de ciclo de vida, al sustituir insumos sintéticos [5]. La sostenibilidad técnica de GLM mejora la eficiencia productiva, mientras que su bajo costo asegura sostenibilidad financiera. Este enfoque de valorización de residuos orgánicos (VRESOR) promueve sistemas avícolas circulares, integrando subproductos con beneficios económicos y ambientales.

Palabras clave: Valorización de residuos, economía circular, harina de guayaba, sostenibilidad, avicultura.



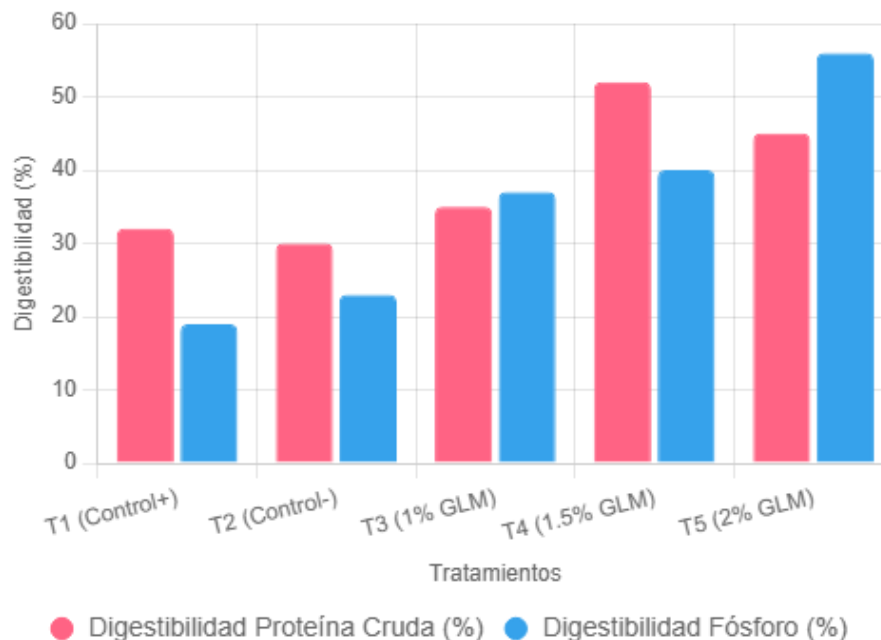


Figura 1. Digestibilidad de Proteína cruda ($P < 0.0002$) y Fósforo ($P < 0.0001$) en los diferentes tratamientos en toda la fase productiva de las aves.

Referencias

- [1]. Ellen MacArthur Foundation. (2019). Circular economy in agriculture: Turning waste into resources. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/circular-economy-in-agriculture>
- [2]. Biswas S, Ahn JM, Kim IH. Assessing the potential of phytogenic feed additives: A comprehensive review on their effectiveness as a potent dietary enhancement for nonruminant in swine and poultry. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*. 2024 May;108(3):711-723. doi: 10.1111/jpn.13922. Epub 2024 Jan 24. PMID: 38264830.
- [3]. Windisch W, Schedle K, Plitzner C, Kroismayr A. Use of phytogenic products as feed additives for swine and poultry. *J Anim Sci*. 2008 Apr;86(14 Suppl):E140-8. doi: 10.2527/jas.2007-0459. Epub 2007 Dec 11. PMID: 18073277.
- [4]. Díaz-de-Cerio E, Verardo V, Gómez-Caravaca AM, Fernández-Gutiérrez A, Segura-Carretero A. Health Effects of *Psidium guajava* L. Leaves: An Overview of the Last Decade. *Int J Mol Sci*. 2017 Apr 24;18(4):897. doi: 10.3390/ijms18040897. PMID: 28441777; PMCID: PMC5412476.
- [5]. Guinée, J. B.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Zamagni, A.; Masoni, P.; Buonamici, R.; Ekvall, T.; Rydberg, T. Life cycle assessment: Past, present, and future. *Environ. Sci. Technol*. 2011, 45, 90–96, DOI: 10.1021/es101316v



Influencia del pH y la temperatura en la remoción del colorante rojo reactivo 195 utilizando tusa de maíz como adsorbente

Santiago Carmona Ramírez^{a*}, Angelina Hormaza Anaguano^b.

^a Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

^b Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Email: ^a sacarmona@unal.edu.co

Resumen

Palabras clave: adsorción, azo-colorantes, bioadsorbentes, sostenibilidad.

Cada año se producen alrededor de 700.000 toneladas y 10.000 tipos diferentes de colorantes y pigmentos sintéticos a nivel mundial, de los cuales una parte significativa termina en aguas residuales, afectando el medio ambiente [1]. Su persistencia en los cuerpos de agua genera problemas graves para los ecosistemas acuáticos, como la alteración de la fotosíntesis por reducción en la penetración de la luz [2]. Asimismo, su toxicidad los convierte en agentes potencialmente peligrosos para la salud humana [3]. Uno de los colorantes más utilizados en la industria textil es el Rojo Reactivo 195 (RR195), un azo-colorante difícil de eliminar por métodos convencionales. En este contexto, la adsorción con residuos agrícolas como la tusa de maíz se plantea como una alternativa sostenible, de bajo costo y viable para el tratamiento de efluentes coloreados.

Este trabajo presenta un avance en la determinación de las condiciones óptimas de operación para la remoción de RR195 utilizando tusa de maíz como adsorbente natural. Se evaluaron dos variables críticas: pH (1 a 5) y temperatura (25 °C, 40 °C y 50 °C). La tusa fue pretratada con peróxido de hidrógeno al 1 %, secada a 80 °C, molida y tamizada (300–500 µm). Los ensayos se realizaron por triplicado con soluciones de RR195 a 20 ppm, agitación constante (180 rpm) y medición por espectrofotometría UV-Vis a 540 nm.

El análisis estadístico confirmó que el pH es una variable crítica en la eficiencia de remoción del colorante Rojo Reactivo 195 sobre tusa de maíz. El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias altamente significativas entre los niveles evaluados, con un valor de $F = 2650.18$ y un p -valor < 0.000001 , señalando que el cambio en el valor del pH afecta considerablemente el rendimiento del sistema. La mayor remoción promedio se obtuvo a pH 1.0 (~77.4 %), mientras que a valores de pH iguales o superiores a 3.0 se evidenció una caída drástica en la eficiencia. Además, los coeficientes de variación (CV) oscilaron entre 1.49 % y 5.75 % según el valor del pH, demostrando una buena reproducibilidad experimental.



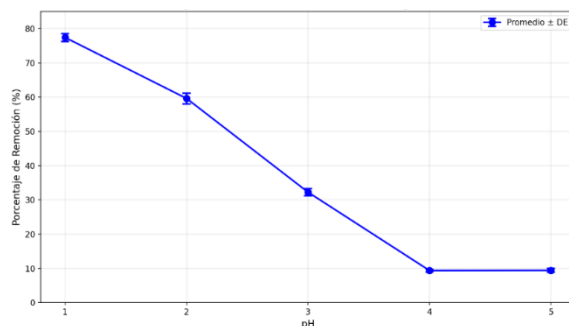


Figura 1. Efecto del pH sobre la remoción del colorante rojo reactivo 195

La temperatura se evaluó a 25, 40 y 50 °C, observándose un incremento leve en la remoción de RR195 con el aumento de esta variable, alcanzando un valor máximo de 78.79 % a 50 °C. Dada la similitud de los resultados y el menor costo energético, se consideró más viable continuar el proceso a 25 °C (75.44 %).

Tabla 1. Remoción promedio del colorante RR195 a distintas temperaturas.

Temperatura (°C)	Remoción (%)
25	75.44 ± 0.12
40	77.66 ± 1.34
50	78.79 ± 0.33

Los resultados confirman que el pH tiene un impacto decisivo sobre el rendimiento del sistema, mientras que la temperatura influye en menor medida. Estos hallazgos permiten establecer condiciones operativas iniciales para la optimización del proceso de adsorción con tusa de maíz, consolidando su potencial como material económico y ambientalmente viable para el tratamiento de efluentes coloreados.

Referencias

- [1] G. E. Walsh, L. H. Bahner, and W. B. Horning, "Toxicity of textile mill effluents to freshwater and estuarine algae, crustaceans and fishes," *Environ. Pollut. Ser. A, Ecological and Biological*, vol. 21, no. 3, pp. 169–179, 1980. [https://doi.org/10.1016/0143-1471\(80\)90161-0](https://doi.org/10.1016/0143-1471(80)90161-0)
- [2] H. Mahanna and M. Samy, "Adsorption of Reactive Red 195 dye from industrial wastewater by dried soybean leaves modified with acetic acid," *Desalination and Water Treatment*, vol. 178, pp. 312–321, Feb. 2020. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.24960>
- [3] M. A. Brown and S. C. De Vito, "Predicting azo dye toxicity," *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, vol. 23, no. 3, pp. 249–324, 1993. <https://doi.org/10.1080/10643389309388453>



Aprovechamiento biotecnológico de la tusa de maíz como matriz agrícola para la producción de enzimas ligninolíticas

Jose Luis Arias Quinchia^{a*}, **Valentina Agudelo Echeverri**^b, **Angelina Hormaza**^c

^{a,b,c} Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín

Email: ^a joariasq@gmail.com

Palabras clave: aprovechamiento, biomasa, biorremediación, biotransformación, fermentación

Resumen

El crecimiento de la industria agrícola genera un volumen significativo de residuos, planteando desafíos tanto ambientales como económicos. La valorización biológica de estos subproductos se perfila como una estrategia clave dentro de la economía circular. En este contexto, la tusa de maíz representa un residuo agroindustrial con alto potencial, no solo como una matriz sólida en procesos fermentativos, sino también por sus propiedades para diversas aplicaciones, como la producción de bioplásticos, biocarburantes o bioabsorbentes. Además, su rica composición lignocelulósica la consolida como un sustrato ideal para procesos de biotransformación orientados a la obtención de productos de valor agregado. [1]

La producción de enzimas ligninolíticas, mediada por hongos de la podredumbre blanca, constituye una vía prometedora para la valorización de la tusa de maíz. Estas biomoléculas poseen la capacidad de catalizar la despolimerización de la lignina, facilitando el aprovechamiento de la biomasa. Su alta especificidad y eficiencia catalítica las posicionan como herramientas valiosas en múltiples sectores industriales, incluyendo el tratamiento de efluentes, la biorremediación y la conversión de residuos en bioproductos de alto valor. [2]

Este trabajo se centra en la evaluación de la tusa de maíz como matriz sólida para la producción de enzimas ligninolíticas con el hongo de podredumbre blanca *Pleurotus ostreatus*, bajo condiciones de fermentación en estado sólido (FES). En particular, se buscó optimizar las condiciones de producción enzimática, evaluando su actividad catalítica en un sistema de semi-escalado empleando matraces Fernbach. [3]

Para la fermentación se utilizaron 20 g de tusa de maíz, con una proporción C: N de 30:1, empleando extracto de levadura y extracto de malta como medio y un porcentaje de humedad del 75%. Cada Fernbach fue inoculado con 30 discos de micelio de 1 cm de diámetro, extraído de la periferia de las cajas del preinóculo. La FES se monitoreó durante 11 días a 25°C y en completa oscuridad. Los experimentos se llevaron a cabo por triplicado.



Los resultados experimentales del sistema *P.ostreatus* con tusa de maíz demostraron una actividad enzimática promedio de 16,135 U/gss, evidenciando la robustez y replicabilidad del proceso [2]. Estos hallazgos concuerdan con la literatura existente, que ya ha destacado el potencial de esta especie fúngica para la producción de lacasas a partir de este residuo agrícola. Los resultados obtenidos en esta investigación abren un camino prometedor para la biotransformación eficiente y sostenible de residuos agrícolas, estableciendo una base sólida para futuros estudios que permitan maximizar el potencial catalítico de estas enzimas. Así mismo, contribuyen al diseño de estrategias biotecnológicas sostenibles y económicamente viables para la valorización de residuos agroindustriales.

Tabla 1. Actividad enzimática del sistema Pleorotus Ostreatus – tusa de maíz.

Experimento	Actividad enzimática promedio [U/gss]
1	19,444
2	13,146
3	15,812

Referencias

- [1] Vargas-Corredor, Y., & Pérez-Pérez, L. I. (2018). Use of Agro-Industrial Waste in Improving the Quality of the Environment. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 1- 14. <https://doi.org/10.18359/RFCB.3108>
- [2] Velásquez Quintero, C., Merino Restrepo, A., & Hormaza Anaguano, A. (2022). Production, extraction, and quantification of laccase obtained from an optimized solid-state fermentation of corncob with white-rot fungi. *Journal of Cleaner Production*, 370, (1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133598>
- [3] Galhaup, C., Wagner, H., Hinterstoisser, B., & Haltrich, D. (2002). Increased production of laccase by the wood-degrading basidiomycete *Trametes pubescens*. *Enzyme and Microbial Technology*, 30(4), 529-536. [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(01\)005221](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(01)005221)



Caracterización de subproductos de la agroindustria del Chocó como fuentes promisorias de materias primas para la alimentación de la tilapia (*Oreochromis sp.*)

Eduardo, Chavarro-Parra^{a*}; Carlos, Hincapié^a; Marisol, Osorio^a; Gustavo, Hincapié-Llanos^a; Carolina, Buitrago-Arias^a; Piedad, Ganán-Rojo^a.

^a Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín

*Eduardo.chavarro@upb.edu.co

El crecimiento demográfico mundial exige que los sistemas de producción de alimentos se adapten y sean suficientes para cubrir las necesidades humanas, todo esto en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. Entre estos sistemas, la acuicultura ha mostrado un notable crecimiento en las últimas décadas, consolidándose como una de las principales fuentes de proteína animal a nivel global, con proyecciones de expansión futura [1,2]. En Colombia, la acuicultura es un sector clave para la economía nacional, no solo por su aporte en divisas y generación de empleo, sino también por su potencial productivo [5]. Sin embargo, enfrenta desafíos importantes relacionados con el impacto ambiental, las enfermedades infecciosas y la limitada disponibilidad de materias primas para la fabricación de alimentos balanceados. Este último aspecto se ve agravado por la escasez y el impacto ambiental asociado a la producción de harina y aceite de pescado [3]. Ante este panorama, la búsqueda de ingredientes alternativos para la formulación de alimentos balanceados se vuelve prioritaria, tanto por razones económicas como ambientales. En particular, el sector agroindustrial, especialmente los subsectores de frutas y hortalizas, generan grandes volúmenes de residuos orgánicos, que suelen desecharse sin un aprovechamiento adecuado, generando contaminación [4]. En este contexto, se formuló el proyecto “Valorización de subproductos agropecuarios para la obtención de productos agroindustriales”, con el objetivo de fortalecer las cadenas de valor en el Pacífico colombiano, y específicamente para aprovechar subproductos de frutas sembradas en el departamento del Chocó. Los subproductos seleccionados fueron *Oenocarpus bataua* (cáscara y semilla), *Passiflora quadrangularis* (mesocarpio) y *Cocos nucifera* (bagazo). Estos materiales fueron recolectados, deshidratados y almacenados para su posterior análisis, con el propósito de seleccionar el ingrediente más promisorio para ser evaluado en dietas para tilapia (*Oreochromis sp.*).

A cada subproducto se le realizó un análisis próximo: la humedad se determinó mediante secado en horno a 105 °C hasta peso constante; las cenizas por calcinación en mufla a 550 °C durante 4 horas; el contenido graso mediante extracción Soxhlet; y la proteína mediante el método Kjeldahl. De todos los subproductos analizados, solo el bagazo de coco presentó un macronutriente relevante: **grasa (20,91%)**, lo que lo posiciona como un candidato potencial para sustituir el aceite de pescado. Por ello, se seleccionó este subproducto para evaluar su perfil de ácidos grasos y realizar pruebas de digestibilidad de la materia seca, con el fin de determinar si



aporta ácidos grasos esenciales conforme a los requerimientos nutricionales de la tilapia, así como su grado de asimilación.

Tabla 1. Análisis próximos de los subproductos seleccionados

Subproducto	Análisis próximo (% base seca por cada 100g)			
	Humedad	Cenizas	Proteína	Extracto etéreo
Coco (bagazo)	2.480 ± 0.069	2.132 ± 0.01	6.411 ± 0.27	20.910 ± 0.309
Badea (mesocarpio)	6.567 ± 0.565	4.404 ± 0.04	2.117 ± 0.02	6.209 ± 3.81
Milpesos (cascara)	16.005 ± 0.139	1.227 ± 0.07	3.931 ± 0.36	8.0132 ± 0.233
Milpesos (semilla)	9.2310 ± 0.0126	12.77 ± 6.732	8.442 ± 0.2148	0.3132 ± 0.032

Palabras clave: desarrollo sostenible, acuicultura, subproductos, *Oreochromis sp*, análisis próximo.

Referencias

- [1] Boyd, C. E., McNevin, A. A., & Davis, R. P. (2022). The contribution of fisheries and aquaculture to the global protein supply. *Food Security*, 14(3), 805–827. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01246-9>
- [2] FAO. (2024). Versión resumida de El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. La transformación azul en acción. Roma. <https://doi.org/10.4060/cd0690es>
- [3] Martínez-Chávez, C. C., Navarrete-Ramírez, P., Raggi, L., Ríos-Durán, M. G., Fonseca-Madrugal, J., Chávez-Sánchez, M.C., Amillano-Cisneros, J.M., Martínez-Palacios, C.A. 2022. Retos y perspectivas del sector acuícola rumbo al 2050. *Ciencia Nicolaita*, número 153-182. DOI: <https://doi.org/10.35830/cn.vi83.572>
- [4] Preciado-Saldaña, A. M., Ruiz-Canizales, J., Villegas-Ochoa, M. A., Domínguez-Avila, J. A., & González-Aguilar, G. A. (2022). Aprovechamiento de subproductos de la industria agroalimentaria. un acercamiento a la economía circular. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 23(2), 92-99. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81373798002>
- [5] Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas (SIOC). (2020). Acuicultura en Colombia. Ministerio de agricultura. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Pages/Documentos.aspx>



Cuantificación de polifenoles utilizando herramientas de quimiometría en subproductos de la cadena productiva del cacao

Nicolás Montoya-Escobar^{a*}, Catalina Gómez H.^a, Jorge Andrés Velásquez-Cock^a.

^a Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.
Email: nicolas.montoya@upb.edu.co

Palabras clave: cacao, subproductos agroindustriales, polifenoles, espectroscopía, quimiometría.

Resumen

En 2018, en un escenario posconflicto y de consolidación de la implementación del Acuerdo de Paz, en Colombia se formalizó la Iniciativa Cacao, Bosques y Paz (CB&P) [1]. Este esfuerzo colectivo, logró que, en 2024, el cultivo del cacao representara exportaciones por más de US \$130 millones, produciendo aproximadamente 65.000 t ese año [2]. Sin embargo, de esa producción agrícola, solo se utilizó entre el 10 y el 15% y lo demás, cascara de la mazorca, cascarilla, miel de cacao, etc, se desechó, a pesar de ser fuente de materias primas de alto valor agregado. Entre los subproductos del cacao, la cacota (CH), constituye una gran oportunidad económica y ambiental, pues representa poco más del 70% del fruto, y posee altos niveles de polifenoles (36,0 - 64,6 mg eq. de ác. gálico/g de muestra seca), los cuales han cobrado especial relevancia por su capacidad antioxidante y propiedades antivirales, cardioprotectoras, antiinflamatorias, entre otras [3].

De esta manera, los subproductos del cacao pueden ser fuente de polifenoles para el mercado de antioxidantes naturales, el cual fue valorado en USD 502,2 millones en 2021, y se proyectó con un crecimiento anual compuesto (CAGR) del 6,1% hasta 2030 [4]. En este contexto, la cuantificación de polifenoles en estos subproductos es esencial para conocer su potencial; no obstante, los métodos convencionales usados para este fin (HPLC o UV-Vis) demandan equipos y reactivos costosos, personal especializado y análisis inmediato por degradación del analito [3]. Ante esta problemática, la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR), una técnica no destructiva, combinada con métodos quimiométricos, se presenta como una alternativa de cuantificación rápida, permitiendo correlacionar espectros con las concentraciones de estos compuestos. Así pues, el presente trabajo se enfoca en el uso de herramientas quimiométricas para la construcción de métodos de cuantificación no invasivos de esta biomolécula en la cacota de cacao, contribuyendo al fortalecimiento de su cadena productiva.

Para lograr lo recién dicho, se procesaron un total de 102 cacotas de distintas variedades de cacao cultivadas en el país, manteniendo un número de muestras similar para cada una. Las CH cuales fueron secadas a 50 °C durante 48 h en un horno de convección forzada, molidas en un molino de cuchillas y tamizadas usando malla 60. La harina obtenida fue sometida a un proceso de extracción en ultrasonido y el extracto fue analizado por espectroscopía UV-Vis con el método de Folin-Ciocalteu para cuantificar el contenido de polifenoles totales (TPC). Paralelamente, de cada harina se tomó el espectro NIR con un espectrofotómetro Nicolet iS50 (Thermo Scientific, Waltham, MA, EE.UU.) en el intervalo 10.000-4.000 cm^{-1} , utilizando una esfera de integración,



64 barridos y resolución de 8 cm⁻¹. Los espectros NIR y los valores de TPC medidos por UV-Vis de cada harina se correlacionaron a través de un modelo PLS desarrollado en Python, evaluando diferentes pretratamientos sobre el espectro y empleando validación cruzada para su evaluación.

Los mejores resultados en la predicción se obtuvieron luego de eliminar las bandas de absorción asociadas al agua del espectro NIR y aplicar la técnica de desviación normal estándar (SNV) como pretratamiento. El modelo utilizó 17 variables latentes, y mostró un buen desempeño predictivo del TPC, logrando un R² = 0,907, y un MAE = 2,29, sugiriendo que las predicciones son consistentes y con desviaciones mínimas respecto a los valores de referencia. Igualmente, la distribución de los residuos en el gráfico de paridad (Figura 1) sugieren una buena concordancia entre los valores medidos por Folin-Ciocalteu y los predichos. Lo anterior, se suma a otros esfuerzos, donde la espectroscopía NIR ha permitido estimar biomoléculas en productos agroindustriales como maíz y harina de trigo [3], demostrando la aplicabilidad del método y su alto potencial de escalabilidad a entornos industriales y de campo.

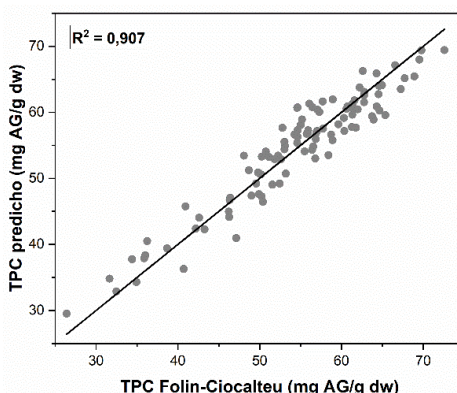


Figura 1. Valores de TPC medidos por el método Folin-Ciocalteu vs valores TPC predichos.

Referencias

- [1] Iniciativa CB&P. (2020). *PLAN DE ACCIÓN CACAO, BOSQUES Y PAZ 2020 – 2030*.
- [2] Minagricultura, & Ecoflora Cares. (2024). *¿Qué hacemos? Ecoflora Cares*.
- [3] Hassan, M. M., Xu, Y., Sayada, J., Zareef, M., Shoaib, M., Chen, X., Li, H., & Chen, Q. (2025). Chemometrics-powered spectroscopic techniques for the measurement of food-derived phenolics and vitamins in foods: A review. *Food Chemistry*, 473, 142722. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.142722>
- [4] Grand View Research. (2022). Food Antioxidants Market Size, Share & Trends Analysis Report By Type (Natural, Synthetic), By Form (Dry, Liquid), By Application (Meat & Poultry, Bakery & Confectionery, Fats & Oil, Fish), By Region, And Segment Forecasts, 2022 - 2030. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/food-antioxidantsmarket-report>



Obtención de biomoléculas a partir de la cascarilla de cacao: una estrategia de valorización de subproductos

Ana Carolina Rodríguez Negrette^{1*}, Jorge Andrés Velázquez Cock², Catalina Gómez Hoyos²

¹. Grupo Investigaciones Agroindustriales—GRAIN, Universidad Pontificia Bolivariana, Circular 1 N° 70-01, 50031 Medellín, Colombia.

². Programa de Ingeniería en Nanotecnología, Universidad Pontificia Bolivariana, Circular 1 N° 70-01, 50031 Medellín, Colombia.

Email: *anac.rodriguez@upb.edu.co

Palabras claves: Subproductos agroindustriales, cascarilla de cacao, pectina, nanofibrilla de celulosa, caracterización fisicoquímica.

Resumen

La generación de subproductos agroindustriales en las diferentes etapas de los procesos productivos es actualmente una problemática a nivel mundial, debido a que en la mayoría de los casos no son procesados o dispuestos adecuadamente [1]. En la industria del cacao se subutilizan materiales que pudieran ser ingredientes en la elaboración de productos novedosos, uno de ellos es la cascarilla de cacao, la cual representa el 12% del peso de la semilla. Estudios previos le atribuyen a la harina de cascarilla de cacao una alta capacidad antioxidante, y una excelente fuente de fibra dietaria lo que, sumado a su relativo bajo costo, lo hacen un ingrediente atractivo para la elaboración de productos con potencial de valorización industrial.

El objetivo de este trabajo fue la obtención y caracterización de dos tipos de biomoléculas obtenidas a partir de la cascarilla de cacao: Pectina (PCAS) y nanofibrillas de celulosa (NFC-CS). La cascarilla de cacao utilizada se extrajo de los principales genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivados en Colombia.

Para la obtención de la PCAS se utilizó ácido cítrico como agente extractor adaptando la metodología de Chasquibol-Silva et al. [2] con algunas modificaciones. Para la obtención de la NFC-CS se siguió la metodología de extracción alcalina conocida como KOH-5, reportada por Zuluaga et al. [3], seguido del tratamiento mecánico reportado por Velásquez-Cock et al. [4]. Las muestras fueron sometidas a diferentes técnicas de caracterización fisicoquímicas, estructural, térmica y morfológicas. La PCAS se caracterizaron mediante análisis termogravimétrico (TGA), a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min entre 30 y 800, °C.; Espectroscopía infrarroja por reflectancia total atenuada (ATR-FTIR), en la región espectral de 4000 cm⁻¹ a 400 cm⁻¹; Microscopia electrónica de barrido (FE-SEM) con imágenes de electrones secundarios. Además,



se determinó el porcentaje de metoxilación; porcentaje de esterificación; pH y color siguiendo las metodologías de Kute et al. [5], Owens et al. [6] y Torres-Mendoza et al. [7]. La CNF-CS se evaluó mediante TGA, ATR-FTIR, análisis de distribución de partícula (Mastersizer), microscopía electrónica de transmisor (STEM) y difracción de rayos X (DRX). Para el análisis de los resultados de la pectina obtenida, se empleó una pectina comercial como estándar de comparación.

Los resultados de rendimiento de la extracción de la PCAS osciló alrededor de $10,43 \pm 0,25\%$. En el análisis de TGA se observó que la PCAS y la pectina comercial presentaron un comportamiento térmico semejante con leves diferencias en la estabilidad térmica y en el porcentaje de masa residual. En el análisis ATR-FTIR, se identificaron grupos funcionales característicos de la pectina y se identificó una gran similitud de los espectros de la PCAS con la pectina comercial (Figura 1). En las imágenes de microscopía por FE-SEM, se observaron estructuras grandes en su mayoría amorfas de tamaño variable con una superficie rugosa y agrietada, similares a las observadas en la pectina comercial. Con respecto al porcentaje de metoxilación, se determinó que la PCAS fue menor al 7% y con un porcentaje de esterificación menor al 50%, clasificándose como pectina de bajo metóxilo, mientras que la pectina comercial presentó un % de metoxilación mayor al 7% y con un porcentaje de esterificación mayor al 50%, clasificándose como pectina de alto metoxilo. Finalmente, la PCAS presentó un pH ligeramente ácido ($3,75 \pm 0,01$), cercano al pH hallado para la pectina comercial ($3,70 \pm 0,05$), y en los análisis de color se observó que la PCAS presentó un color más intenso y rojizo en comparación con la comercial, que fue la más clara y menos saturada en color, con un tono más amarillo.

En el caso de la NFC-CS se alcanzó un rendimiento del $11,12 \pm 0,46 \%$, los resultados del análisis termogravimétrico TGA y derivados (DTG) evidenciaron la degradación térmica de la celulosa entre 300 y 350 °C, así como la descomposición térmica de componentes no celulósicos, como hemicelulosas y lignina. Estos compuestos lignocelulósicos, aunque presentes en menor proporción respecto a la cascarilla de cacao sin procesar, permanecieron en la NFC-CS debido a la dificultad para su eliminación completa. La presencia de estos compuestos lignocelulósicos también fue confirmada mediante los análisis de ATR-FTIR, donde se identificaron grupos funcionales característicos de estas estructuras. Adicionalmente, en esta muestra se identificaron señales asociados a grupos funcionales de los ácidos grasos típicos de este tipo de muestras [8]. La caracterización por STEM permitió identificar que la combinación de tratamientos químicos y mecánicos favoreció la desfibrilación de las estructuras vegetales presentes en la cascarilla de cacao con diámetros por debajo de los 100 nm y agregados con diámetros superiores (Figura 2, a y b). Finalmente, el difractograma del DRX, indicó que se obtuvo una celulosa con una estructura interna similar a la de la celulosa tipo I.

De estos resultados, se concluye que la cascarilla de cacao demostró ser una fuente viable de biomoléculas como pectina y nanofibrillas de celulosa, con rendimientos de $10,43 \pm 0,25$ y $11,12 \pm 0,46 \%$, respectivamente. La PCAS se caracterizó como pectina de bajo metoxilo ($< 7\%$) con un pH ligeramente ácido y un color más intenso y rojizo que la pectina comercial, lo que la hace ideal para aplicaciones industriales como en la elaboración geles y emulsiones. Mientras que la NFC-CS al presentar una estructura interna correspondiente a la celulosa tipo I con diámetros de fibrillas inferiores a los 100 nm, ofrece un gran potencial para su uso industrial en la fabricación de materiales biocompatibles, como su aplicación en recubrimientos.



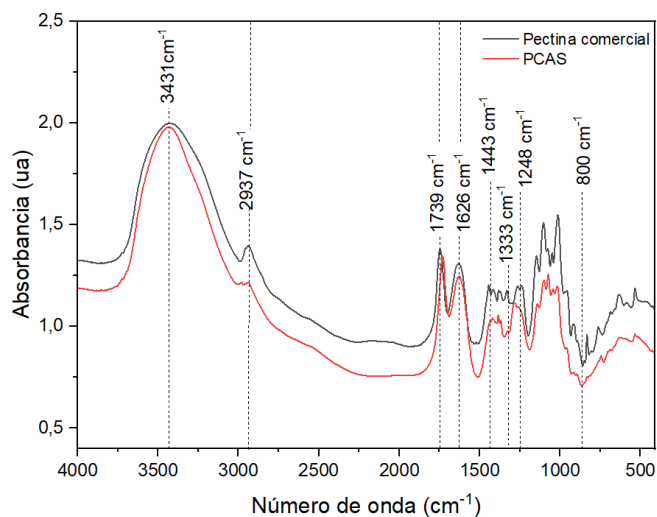


Figura1. Espectros ATR-FTIR de la pectina extraída a partir de la cascarilla de cacao (PCAS) y pectina comercial.

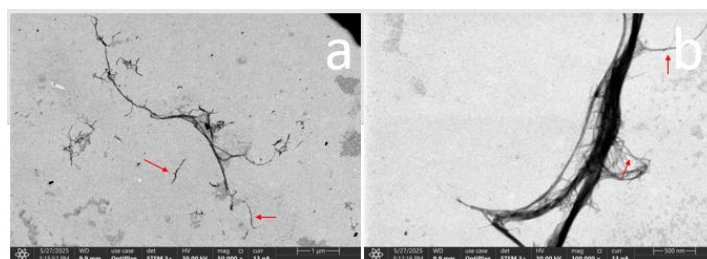


Figura2. STEM de las nanofibrillas de celulosa de cascarilla de cacao (NFC-CS, a – b).

Referencias

- [1] Vargas Corredor, Y. A., & Pérez Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 59–72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- [2] Chasquibol-Silva, N., Arroyo-Benites, E., & Morales-Gomero, J. C. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. *Ingeniería Industrial*, 0(026), 175–199. <https://doi.org/10.26439/ING.IND2008.N026.640>
- [3] Zuluaga, R., Putaux, J. L., Cruz, J., Vélez, J., Mondragon, I., & Gañán, P. (2009). Cellulose microfibrils from banana rachis: Effect of alkaline treatments on structural and morphological features. *Carbohydrate Polymers*, 76(1), 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.09.024>



- [4] Velásquez-Cock, J., Gañán, P., Posada, P., Castro, C., Serpa, A., Gómez H., C., Putaux, J. L., & Zuluaga, R. (2016). Influence of combined mechanical treatments on the morphology and structure of cellulose nanofibrils: Thermal and mechanical properties of the resulting films. *Industrial Crops and Products*, 85, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.036>
- [5] Kute, A., Mohapatra, D., Kotwaliwale, N., Giri, S., & Sawant, B. (2019). Characterization of Pectin Extracted from Orange Peel Powder using Microwave-Assisted and Acid Extraction Methods. *Agricultural Research*, 9, 241–248.
- [6] Owens, H. S., Mccready, R. M., Shepherd, A. D., Miers, J. C., Earlandsed, R. F., & Maclay, W. D. (1952). Methods used at Western Regional Research Laboratory for extraction and analysis of pectic materials.
- [7] Torres-Mendoza, K. E., Lara-Tambaco, R. M., & León-Araujo, M. E. (2023). Obtención y caracterización de la pectina extraída de la cáscara de pepino (*Cucumis Sativus* L-Variiedad Híbrido Dasher II) y validarla como producto gelificante en compotas. *Ibero-American Journal of Engineering & Technology Studies*, 3(1), 205–223. <https://doi.org/10.56183/iberotecs.v3i1.597>
- [8] Gómez Hoyos, C., Mazo Márquez, P., Penagos Vélez, L., Serpa Guerra, A., Eceiza, A., Urbina, L., Velásquez-Cock, J., Gañán Rojo, P., Vélez Acosta, L., & Zuluaga, R. (2020). Cocoa shell: an industrial by-product for the preparation of suspensions of holocellulose nanofibers and fat. *Cellulose*, 27(18), 10873–10884. <https://doi.org/10.1007/S10570-020-03222-6/METRICS>



Valorización de subproductos camaroneros para la obtención de quitosano con aplicaciones alimentarias

Mariana Ochoa-Castaño^a, Daniel Felipe Jaramillo Munera^a, Jorge Andrés Velásquez-Cock^a, Catalina Gómez Hoyos^a

^aUniversidad Pontificia Bolivariana, Medellín

*Email: catalina.gomez@upb.edu.co

Palabras clave: quitosano, camarón, subproductos, extracción, alimentos, biopolímero

Resumen

Los camarones constituyen uno de los principales productos de la industria acuícola a nivel global. Su cultivo y procesamiento generan entre 6 y 8 millones de toneladas de subproductos anualmente [2], de los cuales 40-50% son considerados residuos [3]. Estas fracciones incluyen cabeza, cola y exoesqueleto, cuya acumulación puede acarrear problemas ambientales y de salud pública [2]. No obstante, análisis químicos han revelado su alto contenido en quitina (20–30%) [3], proteínas (30–40%) [3], minerales como carbonato y fosfato de calcio (30–50%) [3], además de otros compuestos bioactivos como lípidos y carotenoides [3].

Entre las estrategias de valorización de este subproducto, la extracción de biomoléculas ha cobrado especial interés [2]. Estas incluyen compuestos como la quitina y su derivado, el quitosano, un polisacárido biodegradable, biocompatible y no tóxico, con múltiples aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y biomédica [4]. El quitosano se obtiene mediante desacetilación de la quitina, proceso que modifica su estructura y funcionalidad, dando lugar a una molécula versátil con propiedades antimicrobianas y filmógenas [2], [4]. Así, el aprovechamiento de los subproductos camaroneros no solo permite recuperar compuestos de alto valor añadido, sino que contribuye a mitigar los impactos negativos de esta cadena productiva; los subproductos suelen ser incinerados, lo que resulta poco eficiente por su baja capacidad de combustión y provoca la emisión de gases peligrosos a la atmósfera [2], o directamente dejados a descomponerse a la intemperie, favoreciendo la generación de compuestos volátiles y el crecimiento de microorganismos patógenos, con potenciales repercusiones negativas en la salud pública [3].

En este trabajo, se propone la valorización de los subproductos generados por la industria camaronera, mediante la obtención de quitosano. Para ello, se partió de una harina constituida por residuos de cabezas y exoesqueletos, a la cual se le realizaron tratamientos secuenciales de desmineralización, desproteinización y desacetilación. Se partió por una desmineralización, que se llevó a cabo utilizando HCl al 3,0 M a 75 °C durante 2 horas, mientras que la desproteinización se realizó con NaOH al 2,5 M a 80 °C durante 2 horas. Finalmente, el proceso de desacetilación se efectuó empleando NaOH al 17,5 M a 90 °C durante 2 horas. El quitosano obtenido se caracterizó mediante diferentes técnicas.

Entre los resultados obtenidos, se destacan los análisis espectroscópicos mediante FTIR, donde se observaron bandas características en las regiones de 1650 cm⁻¹, 1555 cm⁻¹ y 1308 cm⁻¹,



correspondientes a los grupos funcionales de las amidas [2], típicos del quitosano. Además, se determinó un grado de desacetilación de $68,16\% \pm 2,60\%$ y un peso molecular promedio estimado de 91,19 kDa. Estos valores se encuentran dentro del rango reportado para quitosanos de bajo peso molecular (50–150 kDa de peso molecular) [5], pero también bajo grado de desacetilación (entre 55% y 70%) [5], lo que sugiere que el material obtenido podría presentar propiedades de solubilidad, viscosidad y capacidad de enlace similares a las observadas en estudios previos, y permite discutir su viabilidad para aplicaciones en áreas como biomedicina, empaques biodegradables o tratamiento de aguas [2], [5].

Los resultados obtenidos respaldan el potencial del quitosano extraído para aplicaciones en la industria alimentaria; en especial, su grado de desacetilación y su peso molecular lo convierte en una alternativa atractiva para la formulación de recubrimientos biodegradables y comestibles en el campo de los alimentos.

Referencias

- [1] S. C. Carrera-Quintana, P. Gentile, and J. Girón-Hernández, “An overview on the aquaculture development in Colombia: Current status, opportunities and challenges,” *Aquaculture*, vol. 561, p. 738583, Dec. 2022, doi: 10.1016/J.AQUACULTURE.2022.738583.
- [2] S. Hossain and M. K. Uddin, “Isolation and extraction of chitosan from shrimp shells,” *Int. J. Adv. Res.*, vol. 8, no. 9, pp. 657–664, doi: 10.21474/IJAR01/11704.
- [3] K. A. Moreno-Sader, J. D. Martínez-Consuegra, and Á. D. González-Delgado, “Development of a biorefinery approach for shrimp processing in North-Colombia: Process simulation and sustainability assessment,” *Environ Technol Innov*, vol. 22, p. 101461, May 2021, doi: 10.1016/J.ETI.2021.101461.
- [4] A. Hosney, S. Ullah, and K. Barčauskaitė, “A Review of the Chemical Extraction of Chitosan from Shrimp Wastes and Prediction of Factors Affecting Chitosan Yield by Using an Artificial Neural Network,” *Marine Drugs 2022, Vol. 20, Page 675*, vol. 20, no. 11, p. 675, Oct. 2022, doi: 10.3390/MD20110675.
- [5] D. D. Dinculescu *et al.*, “Simultaneous Optimization of Deacetylation Degree and Molar Mass of Chitosan from Shrimp Waste,” *Polymers 2024, Vol. 16, Page 170*, vol. 16, no. 2, p. 170, Jan. 2024, doi: 10.3390/POLYM16020170.



Uso de solventes eutécticos profundos (DES) en el aprovechamiento de subproductos de la industria camaronera

Juan David Montenegro Realpe^a, Natalia Jaramillo Quiceno^b, Jorge Andrés Velázquez Cock^a, Catalina Gómez Hoyos^a

^a Programa de ingeniería en Nanotecnología - Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín

^b Grupo de investigaciones Agroindustriales - Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín

Email: juan.montenegror@upb.edu.co

Palabras clave: Quitina, extracción, solventes eutécticos profundos, camarón, subproductos.

Resumen

La industria camaronera es un motor importante en Colombia, con más de 4.965 t producidas en el 2022 [1], tradicionalmente éstas se generan en comunidades del litoral en zonas como Tumaco en la costa Pacífica y Santa Marta en el Atlántico. El aprovechamiento de este animal genera entre 40–60%p de subproductos, entre estos, la cabeza y la cola, los cuales son procesados para extraer quitina, la cual tiene aplicaciones en la industria farmacéutica y alimentaria. Su uso conlleva a recurrir a ácidos y bases inorgánicas concentradas para desmineralizar y desproteínizar el subproducto [2], resultando en un riesgo ambiental. Como alternativa de procesamiento aparecen los solventes eutécticos profundos (DES), quienes se han consolidado en los últimos años como una alternativa para la valorización de subproductos, ofreciendo una opción a los solventes orgánicos y procesos convencionales que requieren condiciones más agresivas [3].

El método de preparación de los DES, se da a partir de la unión de un donante (HBD) y un aceptor (HBA) de puentes de hidrógeno. Estos componentes usualmente biodegradables y con baja toxicidad son capaces de disolver y reaccionar con compuestos de diversa naturaleza. Zhang et al. evaluaron el uso de una mezcla de cloruro de colina y glicerol con ácido acético para desmineralizar y desproteínizar la harina de camarón durante la extracción de quitina [2]. Bradić et al. usaron distintos DES para extraer quitina de cáscara de crustáceos, empleando altas relaciones de DES:Sólido, lo que se traduce en mayor uso de recursos [4]. Esta investigación está enfocada en la extracción de quitina a partir de la harina de camarón, utilizando un solvente DES a base de cloruro de colina y ácido láctico como HBA y HBD, respectivamente, con distintos parámetros de tratamiento. La preparación del DES se realizó en una relación 1:2 (HBA:HBD) molar en un baño de aceite a 80 °C durante 1 h, hasta obtener un producto translúcido y homogéneo. El tratamiento se realizó en relación 1:20 en masa sólido:DES a 100°C durante 3 h, el sólido fue separado y lavado hasta pH neutro. Se realizaron caracterizaciones por FTIR, TGA y cuantificación de proteínas a partir del método de Bradford. En el espectro FTIR, Fig. 1a, se evidencia una reducción de las bandas Amida I y II asociadas a la presencia de quitina-proteínas en la harina de camarón, esta disminución se explica por la interacción DES con las proteínas mediante puentes de hidrógeno, interacciones electrostáticas, y en menor medida interacciones hidrofóbicas [5]. Estas interacciones rompen o desplazan los enlaces que mantienen la conformación de la proteína dentro de la matriz quitina-proteína, favoreciendo su eliminación



durante el lavado. Además, la partición del pico de Amida I (1658 y 1624 cm^{-1}) características de quitina después del tratamiento se relaciona con una reorganización estructural, que al compararse con la quitina obtenida por el método convencional (Quitina-C) presentan mayor semejanza que respecto a la harina de camarón sin tratar. Esta reducción fue confirmada a partir del método de Bradford donde se determinó una reducción de alrededor de un 80 % en el contenido de proteína después del tratamiento. Al comparar con el estudio de Zhang et al. se observa una remoción de proteína similar [2]. El análisis termogravimétrico, Fig. 1b, determinó una etapa de degradación principal y más homogénea que la mostrada por la harina de camarón, esta se asocia a la quitina presente en la muestra. Adicionalmente, la estabilidad en la degradación a partir de 600 $^{\circ}\text{C}$ sugiere una mínima presencia de minerales (CaCO_3) en la quitina obtenida [5]. Estos resultados muestran la eficacia del método para el aislamiento de quitina y aprovechamiento de los subproductos.

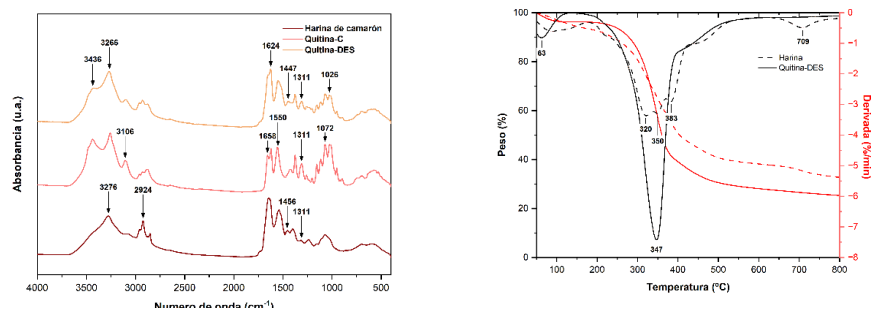


Figura 1. a) Espectro FTIR y b) Termograma TGA/DTG de la harina de subproductos de camarón y la muestra obtenida después del tratamiento con DES (Quitina-DES).

Referencias

- [1] Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2023, 25 de abril). Israel, nuevo mercado para la exportación de larva de camarón de origen colombiano. ICA Noticias. <https://www.ica.gov.co/noticias/israel-exportacion-de-larva-de-camaron-colombiano?>
- [2] Zhang, J., Xu, W. R., & Zhang, Y. C. (2022). Facile production of chitin from shrimp shells using a deep eutectic solvent and acetic acid. *RSC Advances*, 12(35), 22631–22638. <https://doi.org/10.1039/D2RA03417D>
- [3] Li, R., Hsueh, P. H., Ulfadillah, S. A., Wang, S. T., & Tsai, M. L. (2024). Exploring the Sustainable Utilization of Deep Eutectic Solvents for Chitin Isolation from Diverse Sources. In *Polymers* (Vol. 16, Issue 22). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/polym16223187>
- [4] Bradić, B., Novak, U., & Likozar, B. (2020). Crustacean shell bio-refining to chitin by natural deep eutectic solvents. *Green Processing and Synthesis*, 9(1), 13–25. <https://doi.org/10.1515/gps-2020-0002>
- [5] Sun, X., Wei, Q., Yang, Y., Xiao, Z., & Ren, X. (2022). In-depth study on the extraction and mechanism of high-purity chitin based on NADESs method. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(1). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106859>



Obtención de nanopartículas de quitosano, a partir de subproductos de camarón del caribe colombiano

Daniel Felipe Jaramillo Múnera^a, Mariana Ochoa Castaño^b, Jorge Andrés Velásquez-Cock^a, Catalina Gómez Hoyos^{a*}

^a Programa de ingeniería en Nanotecnología - Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín

^b Grupo de investigaciones Agroindustriales - Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín

Email: catalina.gomez@upb.edu.co

Palabras claves: subproducto, camarón, nanopartículas de quitosano, gelación ionotrópica

Resumen

El camarón es un producto marino de gran importancia a nivel mundial, debido a su alta demanda en los mercados internacionales. En 2024, la industria camaronera totalizó ventas internacionales por USD 21.100 millones, mientras que Colombia exportó USD 20.96 millones, con un volumen de 4.16 mil toneladas métricas con un crecimiento interanual del 22%, lo que evidencia un incremento en la oferta y demanda [1-2].

No obstante, uno de los principales retos de la industria camaronera es la gestión de subproductos generados por el procesamiento del camarón, los cuales constituyen una proporción del 20-50% del peso total, incluyendo cabezas, caparazones, vísceras, pelópodos, colas, el cefalotórax y el exoesqueleto, los cuales producen más de 1 millón de toneladas de desechos anualmente en todo el mundo [3]. Actualmente, el método más común de eliminación de estos subproductos consiste en su deposición en vertederos o arrojarlos directamente al océano, lo que provoca consecuencias negativas para el suelo, los recursos hídricos y los ecosistemas marinos [3]. Además, estos pueden conducir a la liberación de gases de amina durante la fermentación de los desechos de camarón, volviendo que las áreas cercanas sean inhabitables [3]. Asimismo, estos residuos contienen materiales valiosos como la quitina (10-25%), proteínas (30-60%), lípidos (10-25%) y minerales (2-10%) [4]. La quitina puede ser transformada en quitosano mediante un proceso de desacetilación. El quitosano es un polisacárido biodegradable y biocompatible, que posee propiedades antimicrobianas, anticancerígenas, alta resistencia mecánica y una alta capacidad para adherirse a superficies biológicas [5].

Ante este panorama, esta investigación propone el aprovechamiento de los subproductos del camarón del occidente colombiano para extraer quitosano mediante procesos de desmineralización, desproteínización y desacetilación, utilizando HCl y NaOH. El quitosano obtenido fue empleado en la obtención de nanopartículas, mediante la gelación ionotrópica, según la metodología de Dube et al [5]. El procedimiento consistió en la adición gota a gota de una solución de tripolifosfato de sodio (TPP), utilizado como agente reticulante, sobre una solución de quitosano disuelto con ácido acético, bajo agitación magnética constante. Una vez obtenidas, las muestras se caracterizaron a través de microscopía electrónica de barrido de



emisión de campo (FESEM), espectroscopía infrarroja por reflectancia total atenuada (ATR-FTIR) y distribución de tamaño de partícula mediante Mastersizer.

La caracterización por FESEM fue complementada con un ensayo de espectroscopia de energía dispersiva (EDS). Los resultados revelaron nanopartículas con morfología esféricas, con diámetros entre 21.463 nm y 265.053 nm (Figura 1a). Adicionalmente, mediante la técnica de EDS se obtuvieron imágenes de colorSEM, que permitieron identificar la presencia de carbono, hidrógeno y oxígeno, elementos característicos del quitosano (Figura 1b). Por otro lado, mediante el análisis del Mastersizer se observó un comportamiento similar, cuyo pico de densidad relativa se encuentra alrededor de los 166 nm. Estos resultados demuestran que las nanopartículas de quitosano obtenidas a partir de subproductos del camarón presentan un tamaño adecuado para aplicaciones alimentarias, cosméticas, farmacéuticas, y especialmente, para la encapsulación de sustancias bioactivas, favoreciendo su estabilidad frente a agentes fisicoquímicos externos [5]. Este tipo de investigaciones contribuyen al desarrollo de estrategias de valorización de los subproductos del camarón.

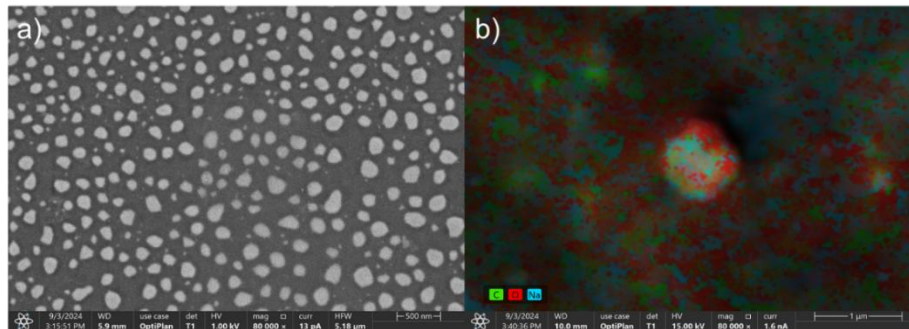


Figura 1. Micrografías FESEM de nanopartículas de quitosano a (a) 80 000x y (b) en colorSEM.

Referencias

- [1] Workman, D. (2024). *Big Export Sales for Frozen or Fresh Shrimps*. World's Top Exports. <https://www.worldstopexports.com/big-export-sales-for-frozen-shrimps/>
- [2] Robinson, M. (2024). *Key Indicators of Shrimp Shell Export from Colombia*. Volza . <https://www.volza.com/p/shrimp-shell/export/export-from-colombia/>
- [3] Djellouli, M., López-Caballero, M. E., Arancibia, M. Y., Karam, N., & Martínez-Alvarez, O. (2020). Antioxidant and Antimicrobial Enhancement by Reaction of Protein Hydrolysates Derived from Shrimp By-Products with Glucosamine. *Waste and Biomass Valorization*, 11(6), 2491–2505. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00607-y>
- [4] Triunfo, M., Tafi, E., Guarnieri, A., Salvia, R., Scieuzo, C., Hahn, T., Zibek, S., Gagliardini, A., Panariello, L., Coltelli, M. B., De Bonis, A., & Falabella, P. (2022). Characterization of chitin and chitosan derived from *Hermetia illucens*, a further step in a circular economy process. *Scientific Reports*, 12(1), 6613. <https://doi.org/10.1038/S41598-022-10423-5>
- [5] Dube, A., Nicolazzo, J. A., & Larson, I. (2010). Chitosan nanoparticles enhance the intestinal absorption of the green tea catechins (+)-catechin and (-)-epigallocatechin gallate. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 41(2), 219–225. <https://doi.org/10.1016/J.EJPS.2010.06.010>



Aprovechamiento y valorización de los residuos de la cadena serícola Colombiana

María Victoria Álvarez-Henao^{a,*}, Julieth Araujo Legarda^a, Samuel Villa Álvarez^a, Katherin Trujillo Fernández^a, María Paula Arroyo Osorio^a, Luis Javier Cruz Riaño^a, Patricia Fernández-Morales^a, Adriana Restrepo-Osorio^{a,b,*}

^a Grupo de Investigación Sobre Nuevos Materiales. Escuela de Ingenierías. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín

^b Wood Utilization + Design Institute, Forestry and Environmental Conservation & Materials Science and Engineering. Clemson University, USA

Email: * mariavictoria.alvarez@upb.edu.co; adriana.restrepo@upb.edu.co

Resumen

La sericultura es un proceso agroindustrial que integra labores agrícolas, pecuarias y productivas para obtener seda natural. Dicho proceso integra actividades que van desde el cultivo de morera y la cría del gusano *Bombyx mori*, hasta su transformación en fibras, hilos y textiles. En Colombia la sericultura se desarrolla principalmente en comunidades rurales mediante procesos artesanales caracterizados por su baja tecnificación y limitada capacidad productiva. Para estas comunidades, la sericultura constituye una importante fuente de ingresos, tal como el caso de COLTESEDA, una agrupación de mujeres sericultoras del municipio de Timbío, Cauca.

El presente trabajo realizado en conjunto entre el GINUMA de la UPB y COLTESEDA, tiene como propósito la identificación de los residuos orgánicos generados en cada etapa del proceso sericultor y que han sido generalmente desechados o han tenido un aprovechamiento limitado. Entre dichos residuos se tienen: tallos y hojas de morera, pupas, residuos fibrosos y aguas de desengomado con sericina (Figura 1). Se pretende entonces darle un enfoque hacia aplicaciones con mayor potencial en sectores tales como: textil, nutricional, biomédico, alimentario, biomateriales y biocombustibles. A la fecha, se han extraído proteínas tales como fibroína y sericina, empleadas en películas [1], recubrimientos comestibles [2] e implantes biomédicos [3], a partir de capullos no devanables, hilaza y capa interna. Se viene caracterizando la pupa, estableciendo su composición lipídica, vislumbrándose así un recurso para la obtención de aceites con aplicaciones para la industria alimentaria, cosmética y nutracéutica [4], así como su uso en emulsiones para ampliar posibilidades de aplicación.

De residuos fibrosos como la hilaza y los capullos no devanables se ha removido sericina empleando el autoclave, en una proporción de 26 y 24 %, respectivamente. La cantidad de extracción de esta proteína depende del residuo fibroso empleado. Además, el proceso de autoclave permite su recuperación sin contaminaciones por agentes químicos, por lo que se viene estudiando su potencial como agente antimicrobiano y antioxidante. Con respecto a la fibroína extraída, se han realizado recubrimientos en fresas, mostrando que prolonga la vida en



anaquel de la fruta hasta 5 días más con respecto a la fruta sin recubrimiento. El aceite de pupa de gusano de seda extraído por soxhlet ha presentado una interesante composición lipídica, resaltando la presencia de más del 60 % de ácidos grasos insaturados, lo que sugiere aplicaciones potenciales como ingrediente funcional. Sin embargo, la presencia de ácidos grasos insaturados es susceptible a oxidación, por lo que una alternativa en la que se está trabajando es en la protección de las propiedades nutricionales mediante emulsiones. En conclusión, la valorización de estos residuos impulsa el aprovechamiento integral de la seda, abre oportunidades económicas, sociales y ambientales, y permite cerrar ciclos productivos, dinamizar economías locales, fortalecer el tejido social y avanzar hacia modelos circulares.

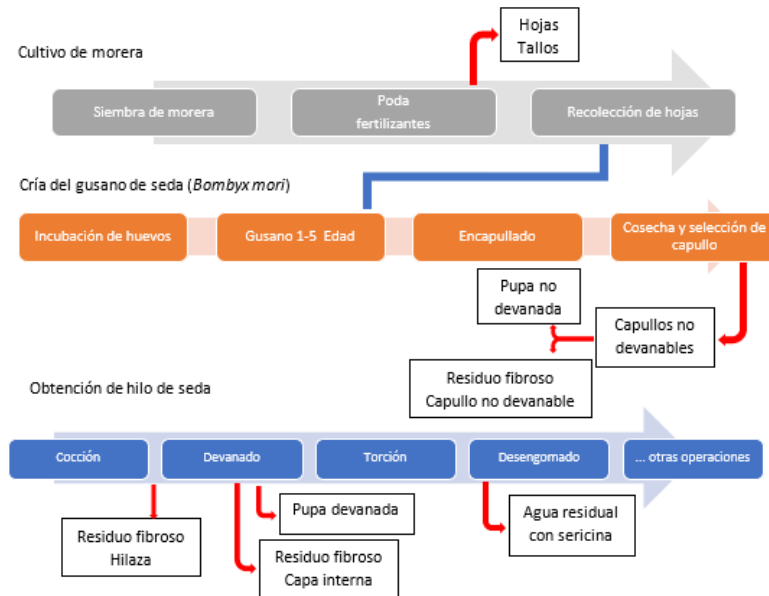


Figura 1. Representación gráfica de la cadena serícola y la generación de residuos.

Referencias

1. Puerta, M., Arango, M. C., Jaramillo-Quiceno, N., Álvarez-López, C., & Restrepo-Osorio, A. (2019). Influence of ethanol post-treatments on the properties of silk protein materials. *SN Applied Sciences*, 1(11), 1443.
2. Jaramillo-Quiceno, N., & Restrepo-Osorio, A. (2020). Water-annealing treatment for edible silk fibroin coatings from fibrous waste. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(13), 48505.
3. Gaviria Castrillon, A. M., Wray, S., Rodríguez, A., Fajardo, S. D., Machain, V. A., Parisi, J., & Bosio, V. E. (2025). Biomimetic bilayer scaffold from *Bombyx mori* silk materials for small diameter vascular applications in tissue engineering. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 113(1), e37789.
4. Hăbeanu, M., Gheorghe, A., & Mihalcea, T. (2023). Nutritional Value of Silkworm Pupae (*Bombyx mori*) with Emphases on Fatty Acids Profile and Their Potential Applications for Humans and Animals. *Insects*, 14(3), 254. <https://doi.org/10.3390/insects14030254>.



Elaboración de panqueques con harina de tusa

Oswaldo J. Ochoa Yepes^{a*}, Jorge Velásquez Cock^a, Catalina Gómez Hoyos^a

^a Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.

Email: [✉] oswaldo.ochoa@upb.edu.co.

Palabras claves: Maíz, subproductos, tusa maíz, panqueques

Resumen

Del cultivo del maíz pueden obtenerse los subproductos como: el rastrojo (cañas y hojas adheridas), flores, capacho (husk), hilos (sedas), raíces, tusas (mazorca desgranada- cob) y mazorcas descartadas. Dichos subproductos representan el 50% del cultivo y pueden ser aprovechados para obtener diferentes moléculas de interés como colorantes, antioxidantes, fibra dietaria insoluble, azúcares reductores, entre otras, otra estrategia de aprovechamiento es la obtención de harinas para la elaboración de productos alimentarios[1], [2]. En esta investigación las tusas de maíz (*Zea mays*), fueron deshidratadas en una estufa de convección forzada. Posteriormente se pasaron por un molino de cuchillas, con una malla de 0,5 mm. La harina de tusa obtenida (Figura 1), fue utilizada en la elaboración de panqueques sustituyendo 10, 20 y 30 % de la harina de trigo dentro de la formulación. Posteriormente, se evaluaron las propiedades de textura y color de los panqueques y fueron comparadas con una muestra control con 0% de harina de tusa, tal como se reporta en la Tabla 1. Los resultados indican que a medida que se incrementa el contenido de harina de tusa, se genera una superficie más oscura en los panqueques, asociada a los procesos de caramelización de los azúcares presentes en este tipo de subproductos [3]. En cuanto al análisis de la textura, se observó que la adición de harina de tusa generó una disminución de la dureza, elasticidad, y masticabilidad del producto. Los valores de la cohesividad se muestran invariantes con la adición de harina de tusa, indicando que la estabilidad de la estructura se mantiene con los cambios en la formulación del control [4].



Figura 1. Fotografía de la Harina de tusa

Tabla 1. Resultados del análisis colorimétrico y de textura de los panqueques control y con harina de tusa.

Muestra	L*	a*	b*	C*	h°
Control (0%)	61.94 ± 3.14 ^a	11.58 ± 1.83 ^a	37.28 ± 2.72 ^{a,c}	39.19 ± 3.10 ^a	73.58 ± 1.77 ^a
Tusa10 (10%)	53.28 ± 4.01 ^b	14.56 ± 1.74 ^a	38.99 ± 1.70 ^a	41.70 ± 2.18 ^a	69.96 ± 1.70 ^a



Tusa20 (20%)	48.23 ± 3.69 ^{b,c}	11.11 ± 0.96 ^b	32.79 ± 0.39 ^b	34.74 ± 0.14 ^b	71.76 ± 1.61 ^a
Tusa30 (30%)	46.70 ± 0.93 ^c	10.94 ± 1.84 ^{a,b}	32.72 ± 3.30 ^{a,c}	34.66 ± 3.73 ^{a,b}	72.10 ± 1.47 ^a
	Dureza (KgF)	Cohesividad (KgF)	Elasticidad (KgF)	Masticabilidad (KgF)	Gomosidad (KgF)
Control (0%)	8.05 ± 2.87 ^a	0.78 ± 0,14 ^a	1.07 ± 0.17 ^a	6.43 ± 2.17 ^a	6.24 ± 2.67 ^{a,b}
Tusa10 (10%)	6.77 ± 0.53 ^a	0.79 ± 0,12 ^a	0.86 ± 0.06 ^a	4.55 ± 0.69 ^a	5.33 ± 0.80 ^a
Tusa20 (20%)	4.1 ± 0.44 ^b	0.82 ± 0.09 ^a	0.79 ± 0.05 ^b	2.69 ± 0.53 ^b	3.39 ± 0.56 ^b
Tusa30 (30%)	4.39 ± 0.44 ^b	0.83 ± 0.11 ^a	0.73 ± 0.02 ^b	2.66 ± 0.49 ^b	3.65 ± 0.59 ^b

Nota: Se presentan los valores promedio y la desviación estándar (\pm). Letras diferentes indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (valor $P < 0,05$).

Conclusiones

Según los resultados reportados en la literatura, es posible aprovechar un insumo como la tusa de maíz, tratado como residuo, para la generación de nuevos ingredientes para alimentos. Los panqueques elaborados en esta investigación obtuvieron parámetros de color que reflejan que el aumento de la harina de tusa dentro de la formulación genera tonalidades más oscuras, en comparación con la formulación de control. En cuanto a la textura, se evidenció una disminución de los valores de los parámetros de textura evaluados en las formulaciones con tusa, respecto a la muestra control.

Referencias

- [1] M. Woźniak *et al.*, “Chemical and structural characterization of maize stover fractions in aspect of its possible applications,” *Materials*, vol. 14, no. 6, p. 1527, 2021.
- [2] F. Tonolo *et al.*, “Fermentation of Corn By-Products: From Agrifood Waste to Higher Value Antioxidant Products,” *Fermentation*, vol. 9, no. 4, p. 373, 2023.
- [3] T. M. dos Santos, I. Andressa, G. K. S. Nascimento, N. de Andrade Neves, and M. Schmiele, “Corncob flour as an alternative ingredient for muffins: technological and nutritional perspectives,” *Revista Principia*, vol. 62, 2025.
- [4] E. Nolasco *et al.*, “Application of dried egg white to enhance the textural properties of fresh and frozen pancakes,” *ES Food & Agroforestry*, vol. 2, no. 3, pp. 50–57, 2020.



Síntesis y caracterización de un biocarbón a partir de cascarilla de café para el tratamiento de aguas residuales

Carol Stephany Sierra Forero^a, Eduard Ricardo Romero Malagon^a, Luis Carlos Moreno Aldana^a, Yazmin Yaneth Agamez Pertuz^a

^a Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Bogotá
Email: csierraf@unal.edu.co

Resumen

La industria del café genera diversos residuos a lo largo de su cadena productiva, siendo los más significativos la pulpa del café, el mucilago, la cascarilla o pergamino. La gestión inadecuada de estos residuos puede provocar problemas ambientales, como lo es la contaminación de los suelos y cuerpos de agua, además de la emisión de gases de efecto invernadero [1], por lo que la síntesis de un biocarbón a partir de un residuo de la industria del café para la aplicación en la contaminación de las aguas residuales presenta un gran interés.

Para la síntesis del biocarbón se empleó cascarilla de café como residuo. El contenido de humedad se determinó por método gravimétrico, secando la muestra 12 h a 105 °C. Posteriormente, se impregnó con $ZnCl_2$ (1:1) durante 12 h, se secó y se sometió a pirólisis en atmósfera de N_2 (10 mL/min) a 500, 600 y 700 °C durante 1 h. El biocarbón obtenido se lavó con HCl 2 M y agua destilada, y se evaluó su rendimiento. Finalmente, se caracterizó mediante sortimetría para determinar área superficial y tamaño de poro. El contenido de humedad de la cascarilla fue cercano al 10%, dentro del rango óptimo (5–15%), evitando pérdidas de eficiencia por mayor consumo energético en la evaporación [2]. El rendimiento de los biocarbones fue de 20–25%. En la Tabla 1, BA corresponde a biocarbones activados in situ con $ZnCl_2$ y BC a aquellos obtenidos sin impregnación previa. Para BC no se obtiene un rendimiento después de realizar lavados, ya que, a estos no se les realizaron lavados. El rendimiento de BA700–5L no fue determinado por la insuficiencia de material remanente después del tratamiento térmico y los lavados.

Tabla 1. Porcentaje de rendimiento de los biocarbones obtenidos, según la temperatura de pirólisis.

Muestra	%Rendimiento	%Rendimiento 5L
BA700	43,62	-
BA600	63,80	19,78
BA500	69,86	22,08
BC700	23,17	-
BC600	24,37	-
BC500	24,64	-



El rendimiento disminuyó con el aumento de la temperatura de pirólisis; sin embargo, los biocarbones obtenidos presentaron mayor calidad, con estructuras más aromáticas, estables y resistentes a la degradación biológica. Además, se incrementó el carbono fijo, se redujeron los compuestos volátiles y oxigenados, y se observó un aumento en el área superficial y la porosidad.

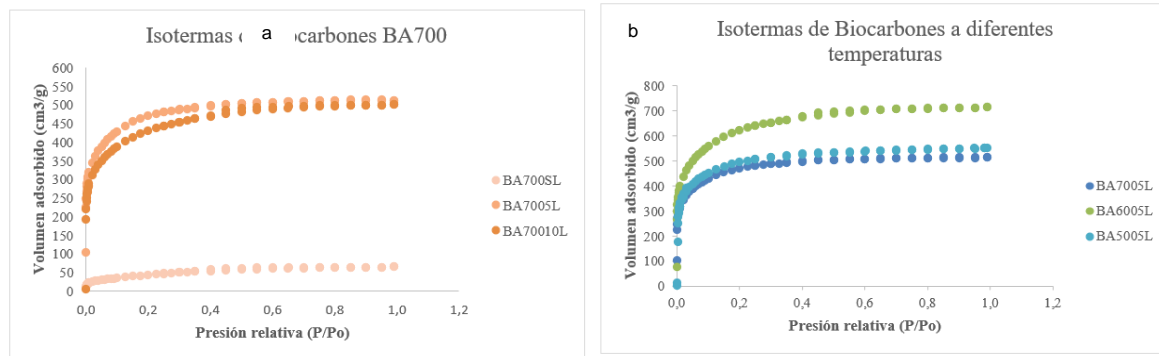


Figura 1. Isotermas de adsorción-desorción a) para los biocarbones BA700 según los diferentes lavados, b) para BAT al realizar cinco lavados.

Se caracterizaron los biocarbones considerando el número de lavados y la temperatura de pirólisis. En todos los casos, las isotermas correspondieron al tipo I de la IUPAC [3], típico de materiales microporosos con alta adsorción a bajas presiones relativas. Esta microporosidad favorece la retención de contaminantes orgánicos de bajo peso molecular, confirmando el potencial del biocarbón como adsorbente en tratamiento de aguas residuales. Además, se observó un incremento en el área superficial de los biocarbones lavados con HCl 2 M, aunque las diferencias no fueron significativas tras más de cinco lavados, indicando que la mayor parte de los residuos se eliminan en las primeras etapas. En conjunto, los resultados evidencian la valorización de la cascarilla de café para obtener biocarbones con propiedades adecuadas en descontaminación de aguas.

Palabras clave: Biocarbón, cascarilla de café, pirólisis, adsorción.

Referencias

- [1] Universidad Externado de Colombia. (2021). El aprovechamiento de residuos de café como solución sostenible. Centro de Estudios sobre Medio Ambiente. Recuperado de <https://medioambiente.uexternado.edu.co/elaprovechamiento-de-residuos-de-cafe-como-solucion-sostenible/>
- [2] Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2015). *Biochar for environmental management: Science, technology and implementation* (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203762264>
- [3] Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A. V., Olivier, J. P., Rodriguez-Reinoso, F., Rouquerol, J., & Sing, K. S. W. (2015). Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 87(9–10), 1051–1069. <https://doi.org/10.1515/pac-2014-1117>



Subproductos de la cadena productiva del camarón como materia prima para la obtención de proteínas con potencial uso alimentario

Natalia Jaramillo-Quiceno^a, Mariana Ochoa Castaño^a, Jorge Andrés Velásquez-Cock^a, Catalina Gómez Hoyos^a

^a Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín

*Email: natalia.jaramilloq@upb.edu.co

Palabras clave: camarón, proteínas, solubilización/precipitación isoelectrica, ultrasonido.

Resumen

La producción mundial de camarón ha presentado un incremento sostenido en los últimos años, llegando a los 10 millones de toneladas métricas (MMT) para el año 2023 [1]. Entre un 35% y un 65% de este producto está constituido por partes no consumibles (cabeza, exoesqueleto abdominal y cola), lo que resulta en la generación de entre 3.5 y 6.5 MMT anuales de subproductos, que comúnmente son manejados como desechos en la industria del procesamiento del camarón [2]. La disposición como residuo de estos subproductos no sólo deriva en impactos ambientales adversos, sino que además representa la pérdida de un material con alto potencial para la obtención de compuestos bioactivos y de proteínas con un alto valor nutricional [3].

Recientemente, se han venido desarrollando diferentes metodologías para la extracción de proteínas a partir de los subproductos de la industria camaronera [4]. Entre estos, el proceso de solubilización/precipitación isoelectrica asistido por ultrasonido presenta ventajas técnicas, económicas y ambientales interesantes, incluyendo tiempos de procesamiento cortos y bajo consumo de reactivos [5]. Sin embargo, en los estudios que se encuentran en la literatura sobre la implementación de este proceso es reducido el análisis de las propiedades físicas y químicas de los extractos sólidos de proteína, siendo esto de gran interés para el diseño de los procesos de aislamiento y para comprender cómo las proteínas, como ingredientes, pueden afectar las propiedades de un producto alimenticio.

Así, el presente trabajo propone el estudio de las propiedades físicas y químicas de extractos sólidos de proteína, obtenidos a partir de la harina de subproductos del camarón mediante solubilización/precipitación isoelectrica asistida por ultrasonido. En una primera etapa, se buscó diseñar el proceso de extracción. Para esto, se evaluó la eficiencia de solubilización de las proteínas en medio acuosos a diferentes pHs (7, 10 y 12), por espectroscopía UV-Vis empleando el método Biuret. Luego, para lograr la agregación y precipitación de las proteínas, cada extracto se ajustó a pH 4 y, mediante centrifugación, se obtuvo una fracción precipitada y otra soluble. Estas últimas dos fracciones se secaron en un horno de convección forzada para su posterior pesaje y caracterización química y física, mediante espectroscopia infrarroja por transformada



de Fourier (ATR-FTIR) y análisis termogravimétrico (TGA), respectivamente. A partir de los resultados obtenidos, respecto a las eficiencias de solubilización y a las propiedades de los extractos secos, se procedió en una segunda etapa a la implementación de extracciones sucesivas que permitieran incrementar la eficiencia del proceso. En este caso, se evaluó la aplicación de 4 ciclos de extracción utilizando la condición de solubilización seleccionada en la primera etapa. La fracción precipitada fue suspendida en agua y neutralizada para su posterior secado. En esta última etapa se evaluó la deshidratación por convección forzada y por liofilización, con miras a la obtención de un material particulado que pueda incorporarse fácilmente en una formulación alimenticia. Los materiales secos fueron también caracterizados mediante ATR-FTIR y TGA. De acuerdo con los resultados encontrados en la etapa de diseño del proceso, el máximo rendimiento de solubilización de proteína se obtuvo a pH 12, llegando a ser de un 8.57 ± 0.08 % respecto a la masa seca de la muestra inicial. Adicionalmente, los hallazgos de la caracterización realizada a los extractos sólidos de proteína demostraron que la solubilización a pH alcalino resultó en fracciones con una proporción significativa de proteínas y un contenido reducido de lípidos y minerales, lo que determinó la elección de esta condición para la implementación de extracciones sucesivas. En esta segunda etapa, se logró incrementar la eficiencia de solubilización hasta llegar a un 16.34 ± 0.17 % respecto a la masa seca de la muestra inicial. Finalmente, la caracterización de los materiales proteicos obtenidos mediante diferentes técnicas de secado permitió evidenciar diferencias en su conformación estructural, lo que podría determinar las propiedades de estos materiales como ingredientes alimenticios.

Referencias

- [1] FAO. (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. In *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024*. FAO. <https://doi.org/10.4060/CD0683EN>
- [2] Eggink, K. M., Gonçalves, R., & Skov, P. V. (2025). *Reviews in Aquaculture*, 17(1), e12975. <https://doi.org/10.1111/RAQ.12975>
- [3] Kandra, P., Challa, M. M., & Kalangi Padma Jyothi, H. (2012). *Applied Microbiology and Biotechnology*, 93(1), 17–29. <https://doi.org/10.1007/S00253-011-3651-2/METRICS>
- [4] Zhang, Z., Ma, Z., Song, L., & Farag, M. A. (2024). *Journal of Advanced Research*, 57, 59–76. <https://doi.org/10.1016/J.JARE.2023.11.002>
- [5] Catzín Yupit, C. N. (2009). *Procesos de solubilización/precipitación y de hidrólisis enzimática para la obtención de concentrados de proteína, a partir del cefalotórax de camarón blanco Litopenaeus vannamei* [Master]. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.



Obtención de productos gaseosos con potencial para el sector energético a partir de la pirólisis del bagazo de caña de azúcar asistida con ilmenita

Jeferson Pinzón Chavarro^{a*}, Omar Darío Gutiérrez Flórez^a, Paola Andrea Villegas Bolaños^a.

^a. Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia

Email: ^ajefersonpinzon281691@correo.itm.edu.co

Palabras Claves: Pirólisis, Biogás, Catalizador, Reutilización, Bagazo.

Resumen

La problemática de los residuos agroindustriales y mineros en Colombia es un tema que se agudiza, a medida que aumenta la producción de bienes como el azúcar, se generan grandes cantidades de desechos, entre los cuales se destacan enormes volúmenes anuales de bagazo de caña de azúcar. Asimismo, la actividad minera genera residuos que requieren una gestión adecuada. La inadecuada disposición de estos residuos puede ocasionar impactos ambientales negativos. La pirólisis de biomasa residual permite valorizar estos residuos obteniendo productos como bioaceite, biogás y biochar, aunque presenta limitaciones en términos de altos costos energéticos y control limitado de los productos. Esta investigación tuvo como objetivo determinar los parámetros de reacción de la pirólisis de bagazo de caña de azúcar asistida con ilmenita residual para la generación de productos con valor agregado en fase gaseosa. La metodología implicó caracterización de la ilmenita, una optimización en los experimentos de pirólisis bajo un diseño Box-Behnken para cuantificar el efecto de variables del proceso sobre el rendimiento y composición del gas. Los resultados mostraron que el mayor rendimiento global de gases (45%) se alcanzó con un flujo de 230 mL/min en ausencia de catalizador. El proyecto se articula con los ODS 7 y 12 en materia de acceso a energía asequible y promoción de la producción y el consumo eficientes de los recursos. Con el objetivo de evaluar el efecto de la temperatura del lecho reactante y la carga de catalizador en el rendimiento de productos gaseosos y su composición, se realizará un diseño de experimentos Box-Behnken con dos factores: el flujo de gas y la carga de catalizador. Para el flujo de gas, se establecieron tres niveles: (130, 180 y 230 mL/min); mientras que, para la carga de catalizador los niveles fueron: (0%, 0.0375% y 0.0750%). Estos niveles se codificaron como -1, 0 y +1, donde -1 representa el valor más bajo tanto para el flujo de gas como para la carga de catalizador, 0 el valor intermedio y +1 el valor más alto. Los experimentos se realizaron por triplicado siguiendo una aleatorización de los niveles para determinar los rendimientos de manera estadísticamente significativa en los cuales se representa en la siguiente tabla:

Tabla 1. Resultados del análisis textural de los catalizadores.



Diseño Factorial	Flujo(mL/min)	% Catalizador
-1	130	0
0	180	0.375
1	230	0.75

En los resultado se puede observar en la figura 1 que el rendimiento más favorable para la producción de gases se obtuvo con el mayor flujo y sin catalizador, un fenómeno que la literatura reporta con regularidad. Por ejemplo, (Parihar et al., 2007) describieron en su estudio que al aumentar el flujo se puede observar una variación en los rendimientos de gases, pasando de 19,7% a 24,67%. Esta tendencia se confirma en los resultados, donde se evidencia un incremento porcentual al pasar de un flujo de 180 mL/min con 35% de rendimiento a un flujo de 230 mL/min con 45%.

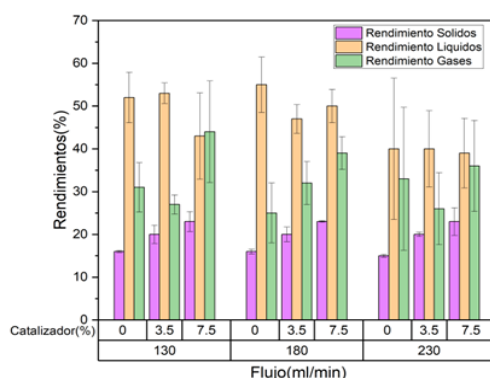


Figura 1. Rendimientos de los productos de la pirólisis.

Referencias

Jahirul, M. I., Rasul, M. G., Chowdhury, A. A., & Ashwath, N. (2012). Biofuels production through biomass pyrolysis- A technological review. In *Energies* (Vol. 5, Issue 12, pp. 4952–5001). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en5124952>

Laura Victoria Peñaranda González, S. P. M. G. & P. A. G. A. (2017). Vista de Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(145–6097).

Sánchez Bastardo, N. (2014). Obtención De Gas De Síntesis A Partir De Biomasa Utilizando Catalizadores De Níquel.

Taborda, L. S. (2021). Evaluación del uso de una zeolita natural en el aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar mediante pirólisis catalítica para la producción sostenible de bioaceite.



Obtención de fibras de celulosa a partir de residuos de pseudotallo para su aplicación como material de refuerzo en la industria papelera

Alba N. Ardila A.^{a*}, María Camila Moreno^b, Erasmo Arriola-Villaseñor^c, Efraín González Villegas^d, Eduart A. Gutiérrez-Pineda^e, Cristian C. Villa^f

^{a,b,c,d}Grupo de Investigación en Catálisis Ambiental y Energías Renovables (CAMER), Facultad de Ciencias y Educación, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. ^eGrupo de Investigación Agroalimentaria GIAUNA, Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería (ECBTI), Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). ^fGrupo de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos – CYTA, Facultad de Química, Universidad de Quindío

E-mail autor de correspondencia: anardila@elpoli.edu.co

Resumen

El aprovechamiento de fibras de celulosa derivadas de residuos agroindustriales es una estrategia clave para disminuir la dependencia de recursos forestales y avanzar hacia la sostenibilidad en la industria papelera. Entre estas fuentes, el pseudotallo de banano se destaca por su abundancia, bajo costo y elevado contenido de celulosa[1][2]. Este estudio evaluó cómo distintos métodos de extracción influyen en la morfología de las fibras y en las propiedades físicas, mecánicas y ópticas de hojas de mano, comparando con fibras comerciales largas de pino (FKPN). Se aplicaron tratamientos químicos con H₂O₂ (8 %) y NaOH (25 % y 30 %), tanto con asistencia de ultrasonido convencional como con homogenizador ultrasónico. Se analizaron la longitud, ancho, curvatura, macrofibrilación y porcentaje de finos de las fibras. En general, las fibras de pseudotallo fueron más cortas (0.4–1.0 mm) que las de pino (2.1 mm), lo que podría limitar el entrelazado y reducir la resistencia mecánica. Sin embargo, presentaron mayor ancho (32–59 μm frente a 29 μm) y curvatura (17.5 % frente a 13.5 %), lo cual aporta flexibilidad y favorece la formación de la red fibrosa. El incremento en macrofibrilación y finos, especialmente en tratamientos con NaOH, aumentó el área de enlace por puentes de hidrógeno, aunque un exceso de finos puede comprometer la integridad estructural. En el análisis físico, las hojas de pseudotallo mostraron pesos base entre 65.8 y 86.3 g/m², frente a 72.3 g/m² del FKPN. La capacidad de absorción resultó mayor en la mayoría de las muestras (3.02–3.44 g/g) respecto al pino (2.98 g/g), indicando una estructura más porosa. Esta característica es ventajosa para papeles absorbentes, aunque menos adecuada en productos que requieren alta resistencia estructural. Desde el punto de vista óptico, las fibras de pseudotallo exhibieron blancuras ISO de 54.0–66.0 %, menores que el 80.5 % de las fibras de pino, debido a la persistencia de lignina y cromóforos. Asimismo, los valores de L*, a* y b* evidenciaron tonalidades amarillentas y baja luminosidad. Esto limita su aplicación en papeles finos, aunque etapas adicionales de blanqueo podrían mejorar significativamente la apariencia sin comprometer las propiedades mecánicas [3][4][5]. En cuanto a la resistencia, la muestra FPUC-H08 alcanzó la mayor resistencia en seco (8057 gf) y elongación (6.2 %), con blancura adecuada (63.2 %), lo que la hace prometedora para papeles tissue. La muestra FPUC-Na30 logró la máxima pureza de celulosa (99.5 %) y la mayor resistencia en húmedo (2428 gf), lo que la posiciona como candidata para papeles absorbentes de alta integridad. Por su parte, FPHU-Na25 mostró buena resistencia en húmedo (2327 gf) y



menor daño morfológico, lo que la hace competitiva para papeles de embalaje económico, aunque su baja blancura limita aplicaciones estéticas [3][4][5].

Tabla 2. Propiedades físicas, mecánicas y ópticas de las hojas de mano.

Código	Peso base (g/m ²)	Resistencia en seco (gf)	Resistencia en húmedo (gf)	Elongación (%)	Capacidad de absorción (g/g)	Coordenadas de color			Blancura ISO (%)
						L*	a*	b*	
FPHU-H08	65.8	5139	681	3.2	3.44	89.4	0.2	7.8	66.0
FPUC-H08	76.1	8057	790	6.2	3.07	88.3	0.3	8.6	63.2
FPHU-Na25	86.3	5144	2327	3.8	3.02	82.1	1.0	6.2	54.3
FPUC-Na25	85.2	7556	660	5.2	3.39	83.0	1.3	7.1	54.9
FPD-Na25	78.4	6520	1840	5.7	3.13	88.0	1.1	7.7	63.5
FPD-Na30	83.2	7327	1835	5.1	3.05	82.2	1.2	6.5	54.0
FPUC-Na30	82.4	7118	2428	5.6	3.13	82.7	1.3	7.0	54.5
FKPN	72.3	8790	3000	4.6	2.98	94.2	0.1	4.2	80.5

Si bien las fibras de pseudotallo no alcanzaron en todos los casos el desempeño de las fibras comerciales (8790 gf en seco y 3000 gf en húmedo), demostraron propiedades competitivas bajo condiciones de extracción optimizadas. Esto abre la posibilidad de orientar el procesamiento hacia aplicaciones específicas: papeles absorbentes, tissue o de embalaje [3][4][5]. En conclusión, las fibras de pseudotallo de banano muestran un notable potencial como materia prima renovable y de bajo costo para la industria papelera, alineándose con los principios de economía circular y valorización de residuos. La optimización de las etapas de extracción, combinando tratamientos químicos y mecánicos, podría mejorar propiedades críticas como blancura y resistencia en húmedo, favoreciendo su integración en aplicaciones de mayor valor agregado. Futuras investigaciones deben abordar aspectos de durabilidad, escalabilidad industrial y optimización de procesos de blanqueo, para consolidar su viabilidad técnica y comercial.

Palabras clave: residuos de pseudotallo, fibras de celulosa, material de refuerzo, industria papelera.

Referencias

1. Ardila, A.N.; González, E.A.-V.E.E.V.; Guerrero, H.E.G.; Hernández-Maldonado, J.A.; Villa, E.G.-P. and C.C. Enhanced Cellulose Extraction from Banana Pseudostem Waste : A Comparative Analysis Using Chemical Methods Assisted By. *Polymers (Basel)*. **2024**, *16*, 1–19, doi:https://doi.org/10.3390/polym16192785.
2. Melezhyk, A. V.; Kotov, V.A.; Tkachev, A.G. Optical Properties and Aggregation of Graphene Nanoplatelets. *J. Nanosci. Nanotechnol.* **2016**, *16*, 1067–1075, doi:10.1166/jnn.2016.10496.
3. Ruangnarong, C.; Khojitmate, S.; Srivorradatphisan, S.; Panyathikun, N.; Chonsakorn, S. Evaluation of Mechanically Extracted Banana Fibers from Pseudostem Layers: A Sustainable Textile Raw Material. *Heliyon* **2024**, *10*, e39880, doi:10.1016/j.heliyon.2024.e39880.
4. Lipkiewicz, A.; Małachowska, E.; Dubowik, M.; Przybysz, P. Impact of Shredding Degree on Papermaking Potential of Recycled Waste. *Sci. Rep.* **2021**, *11*, 1–9, doi:10.1038/s41598-021-96325-4.
5. Abd El-Sayed, E.S.; El-Sakhawy, M.; El-Sakhawy, M.A.M. Non-Wood Fibers as Raw Material for Pulp and Paper Industry. *Nord. Pulp Pap. Res. J.* **2020**, *35*, 215–230, doi:10.1515/npprj-2019-0064.



Materiales carbonosos tipo grafeno obtenidos a partir de residuos forestales mediante pirólisis catalítica con $K_3[Fe(CN)_6]$ como catalizador y activador

Alba N. Ardila A.^{a*}, Erasmo Arriola-Villaseñor^b, Madelyn Ortiz-Quiceno^c, Lucas Blandón-Naranjo^d.

^{a,b,c,d}Research Group on Environmental Catalysis and Renewable Energies - CAMER, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín 050010, Antioquia Colombia.

E-mail autor de correspondencia: anardila@elpoli.edu.co

Resumen

La creciente demanda de materiales avanzados para aplicaciones en catálisis, almacenamiento de energía y adsorción ha impulsado el desarrollo de rutas sostenibles para producir materiales carbonosos. En este estudio se evaluó la viabilidad de transformar celulosa extraída de King Grass (*Pennisetum purpureum*), una gramínea de rápido crecimiento y alto contenido de carbono, en materiales tipo grafeno mediante pirólisis catalítica. Se compararon dos catalizadores: cloruro férrico ($FeCl_3$), ampliamente reportado, y ferricianuro potásico ($K_3[Fe(CN)_6]$), una sal dual capaz de liberar simultáneamente hierro y potasio durante la carbonización [1–3]. La biomasa se sometió a tratamientos convencionales y asistidos por ultrasonido para la extracción de celulosa, que posteriormente fue impregnada con los catalizadores y sometida a un proceso de desoxigenación, pre-carbonización y pirólisis a 1000 °C. Se sintetizaron nueve materiales diferentes, además de referencias comerciales de celulosa, grafeno y óxido de grafeno. Las muestras fueron caracterizadas mediante TGA, CHNS, BET, Raman, XRD, HRTEM, H_2 -TPR y análisis elementales. Los resultados confirmaron que la biomasa de King Grass es un precursor adecuado para materiales carbonosos, debido a su alto contenido de carbono fijo y presencia de estructuras oxigenadas que favorecen el desarrollo de poros. La influencia del catalizador fue decisiva: mientras $FeCl_3$ generó materiales mayoritariamente amorfos y con baja porosidad, $K_3[Fe(CN)_6]$ promovió la formación de dominios gráfiticos altamente ordenados y porosos. Esto se explica por su descomposición térmica, que libera Fe y Fe_3C (catalizadores de grafitización) junto con K_2CO_3 (agente de activación química), integrando en un solo paso el reordenamiento estructural y el desarrollo de área superficial. Las muestras catalizadas con $K_3[Fe(CN)_6]$ alcanzaron áreas BET de hasta 714.50 m²/g, índices de defectos relativamente bajos (ID/IG = 0.37–1.11) y bandas 2D bien definidas (I2D/IG = 0.32–0.80). El análisis por HRTEM confirmó la formación de dominios gráfiticos de pocas capas, mientras que los patrones XRD y espectros Raman evidenciaron mayor cristalinidad y reducción de defectos en comparación con $FeCl_3$ o síntesis sin catalizador. Asimismo, estas muestras mostraron un comportamiento catalítico más activo en pruebas de reducción (H_2 -TPR)[3–4].

Table 1. Tratamiento aplicado a la biomasa para la obtención de loa materiales carbonosos y sus propiedades fisicoquímicas.

Código	Descripción		Área Superficial BET (m ² /g)	Volumen Promedio de Poro BJH (cm ³ /g)	Diámetro Promedio de Poro (nm)	Fe (wt.%) AAS	K (wt.%) AAS	pH de la Dispersión	Potencial Zeta (mV)
CG-ND-ND	Biomasa deslignificada desoxidada.	no ni	42.73	0.028	8.97	-	-	10.12	-34.0



CG-ND-DW	Biomasa no deslignificada, desoxidada sin catalizador.	275.89	0.082	6.75	-	-	9.93	-28.8
CG-DCAP-FeCl	Biomasa deslignificada con H ₂ O ₂ -NaOH convencional y desoxidada con FeCl ₃ .	400.22	0.123	6.32	3.76	-	6.63	-37.3
CG-DCAP-KFe	Biomasa deslignificada con H ₂ O ₂ -NaOH convencional y desoxidada con K ₃ [Fe(CN) ₆].	449.06	0.124	4.92	5.90	2.73	9.99	-38.0
CG-DUAP-FeCl	Biomasa deslignificada con H ₂ O ₂ -NaOH ultrasonido y desoxidada con FeCl ₃ .	388.41	0.123	5.10	4.22	-	5.51	-24.8
CG-DUAP-KFe	Biomasa deslignificada con H ₂ O ₂ -NaOH ultrasonido y desoxidada con K ₃ [Fe(CN) ₆].	414.29	0.110	4.40	6.02	2.75	10.20	-37.4
CC-FeCl	Celulosa comercial, desoxidada con FeCl ₃ .	314.22	0.098	3.97	5.90	-	6.59	-31.2
CC-KFe	Celulosa comercial, desoxidada con K ₃ [Fe(CN) ₆].	714.50	0.140	3.18	8.06	1.88	9.93	-39.4
CG	Grafeno comercial.	49.03	0.096	11.97	-	-	8.15	-47.9

En términos de rendimiento, se obtuvieron valores consistentes y reproducibles, aunque ligeramente menores en presencia de K₃[Fe(CN)₆] debido a la volatilización inducida por el potasio. Sin embargo, las propiedades estructurales y texturales alcanzadas resultan comparables e incluso superiores a las de algunos grafenos comerciales. Este estudio demuestra que el King Grass es una materia prima viable para producir materiales grafénicos de alto desempeño, y que el uso de K₃[Fe(CN)₆] constituye una estrategia eficiente, sostenible y simplificada, al integrar simultáneamente grafitización y activación. Los materiales obtenidos presentan potencial en aplicaciones de catálisis, adsorción y almacenamiento energético, reforzando el concepto de valorización de residuos agroindustriales y de economía circular.

Palabras clave: Pasto King Grass, Materiales carbonosos tipo grafeno, pirólisis catalítica, K₃[Fe(CN)₆].

Referencias

1. Betancur, S.B.; Villaseñor, E.A.; Arias, A.N.A. Preliminary Economic Feasibility Study for Graphene Synthesis from King Grass at Laboratory Scale. *J. Eng. Res.* **2023**, *3*, 2–14, doi:10.22533/at.ed.3173412307121.
2. Botero-Londono, J.M.; Celis-Celis, E.M.; Botero-Londono, M.A. Nutritional Quality, Nutrient Uptake and Biomass Production of Pennisetum Purpureum Cv. King Grass. *Sci. Rep.* **2021**, *11*, doi:10.1038/s41598-021-93301-w.
4. Safian, M.T.; Haron, U.S.; Mohamad Ibrahim, M.N. A Review on Bio-Based Graphene Derived from Biomass Wastes. *BioResources* **2020**, *15*, 9756–9785, doi:10.15376/biores.15.4.safian.
5. Bahmei, F.; Bahramifar, N.; Ghasemi, S.; Younesi, H.; Weil, M. Comparison of Environmental Impacts in the Production of Graphene from Biomass Waste and the Hummers' Method. *J. Clean. Prod.* **2025**, *497*, doi:10.1016/j.jclepro.2025.145145.



TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE DEMOLICIÓN Y CONSTRUCCIÓN-VRCD

Avance del trabajo: Aprovechamiento de finos residuales provenientes de cantera como reemplazo parcial del agregado fino en mortero de revoque y su efecto en la resistencia y respuesta al intemperismo acelerado

Jonatan Arboleda^a, Eliana Llano^b, Gloria Restrepo^c.

^{a,b,c} Universidad de Antioquia, Medellín
Email: ^a jonatana.arboleda@udea.edu.co

Resumen

Los finos residuales de cantera son subproductos generados durante la extracción y procesamiento de agregados pétreos, cuya acumulación supone un reto ambiental por su difícil disposición. Este trabajo de grado, que se encuentra actualmente en desarrollo, estudia su incorporación en morteros para revoque, evaluando su efecto en la resistencia, durabilidad y comportamiento frente al intemperismo acelerado. A nivel global, la industria de materiales de construcción produce cerca de 35 mil millones de toneladas anuales, generando grandes cantidades de estos residuos sólidos [1] y en Colombia, para 2023, se reportaron 19.74 millones de metros cúbicos de materiales de construcción extraídos [2]. Del total de agregado fino producido en cantera, aproximadamente un 5 % corresponde a finos residuales, mientras que, en el caso de la roca gruesa triturada, este porcentaje es cercano al 1% [3]. La incorporación de residuos pétreos en morteros ha sido reportada como una estrategia eficaz para reducir impactos ambientales y disminuir la extracción de recursos naturales no renovables [4]. Este estudio propone aprovechar este subproducto como reemplazo parcial de la arena natural en morteros de revoque, contribuyendo al cierre de ciclos productivos en un contexto de economía circular. El revoque es un sistema de recubrimiento compuesto por una o múltiples capas de mortero, aplicadas sobre paredes y cielorrasos [5]. Para preparar la mezcla de revoque se utiliza una arena fina, conocida de forma coloquial como arena de revoque, cuya producción generalmente no está industrializada; por lo tanto, su origen es natural y se extrae de ríos y quebradas. La metodología experimental contempla la caracterización fisicoquímica del residuo y del agregado fino, así como la formulación de mezclas con sustituciones del 0%, 10%, 20% y 30%. Para cada dosificación se realizarán ensayos de absorción de agua por ascensión capilar, análisis de durabilidad mediante pruebas de intemperismo acelerado en las que se expone el material a ciclos de radiación ultravioleta, humedad y cambios de temperatura y ensayos de resistencia a la compresión simple a los 7, 14 y 28 días de curado y a probetas curadas durante 28 días y luego sometidas a ciclos de intemperismo acelerado de 108, 216, 324 y 432 horas. En la tabla 1 se presentan algunos de los principales valores obtenidos para la caracterización del residuo.



Tabla 1. Primeros resultados de la caracterización fisicoquímica el lodo residual.

Propiedad	Valor	
Actividad puzolánica (mg Ca(OH) ₂ fijados)	139,42	
Límite líquido (%)	38	
Índice plástico	13	
Clasificación AASHTO	A-6	
Materia orgánica (%)	1,616	
pH	8,57	
	MgO (%)	37,59
	SiO ₂ (%)	37
óxidos principales	Fe ₂ O ₃ (%)	9,86
	Al ₂ O ₃ (%)	4,26
	CaO (%)	1,54

Los resultados de la metodología planteada permitirán evaluar el desempeño de estos morteros a largo plazo, ofreciendo una solución innovadora y sostenible para la reutilización de este residuo en la construcción.

Palabras clave: residuos cantera, mortero de revoque, finos residuales, economía circular.

Referencias

- [1] P. R. de Matos, R. D. Sakata, P. J. P. Gleize, J. de Brito, y W. L. Repette, “Eco-friendly ultra-high performance cement pastes produced with quarry wastes as alternative fillers”, *J Clean Prod*, vol. 269, oct. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122308.
- [2] J. Álvarez, M. Obando, G. Poveda, y S. Sánchez, “Diagnóstico preliminar del comportamiento de las tendencias en los mercados de materiales de construcción (Gravas, Arenas y Recebos) y minerales no metálicos (Arcillas) en Colombia”, 2023. Consultado: el 5 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/EstudiosPublicaciones/Doc_tecnico_materiales_de_construccion_VF_27-12-2023.pdf
- [3] T. Polydorou, N. Kyriakides, K. Neocleous, y D. Hadjimitsis, “Use of quarry waste in concrete and cementitious mortars”, en *Handbook of Sustainable Concrete and Industrial Waste Management: Recycled and Artificial Aggregate, Innovative Eco-friendly Binders, and Life Cycle Assessment*, Elsevier, 2021, 14, pp. 289–304. doi: 10.1016/B978-0-12-821730-6.00016-4.
- [4] A. Altheeb, “Quarry dust waste-based cementitious composites – A comprehensive review”, el 3 de octubre de 2022, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128817.
- [5] SENA, Manual práctico del revoque : práctica recomendada para la ejecución y control de calidad del revoque. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), 2003. Consultado: el 2 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/7702>



TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS-VALER

Valorización energética de biomasa residual mediante biodigestores anaerobios en el resguardo Nazareth del municipio de Leticia

***Nicolas Muñoz Urrego^a, Arturo Gómez Insuasti^b**

^a Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonia, Leticia (nmunozu@unal.edu.co)

^b Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonia, Leticia (asgomezi@unal.edu.co)

Palabras clave: valorización energética, biodigestión anaerobia, biomasa residual, resguardo Nazareth, Amazonas

Resumen

Durante las últimas décadas el uso de biodigestores para el autoabastecimiento de biogás ha resultado ser una alternativa de extendida aplicación, gracias a su versatilidad y adaptabilidad es posible su uso en contextos donde se presentan debilidades en el acceso a servicios domiciliarios básicos, como es el caso de zonas rurales y territorios aislados [1]; [2]; [3]). Con los biodigestores se consigue aprovechar biomasa residual, de origen animal o vegetal, en la generación de biogás para usos diversos, entre los que destaca la cocción de alimentos.

Se llevó a cabo una investigación con enfoque mixto concurrente, con el objetivo de evaluar el potencial de implementación de biodigestores anaerobios en la comunidad de Nazareth del municipio de Leticia, como alternativa para el abastecimiento de biogás domiciliario. Los objetivos específicos fueron: (a) estimar la disponibilidad de biomasa residual, con potencial de valorización energética en biodigestión anaerobia, considerando las fuentes y los flujos de residuos orgánicos en el resguardo; (b) caracterizar la biomasa residual con potencial de valorización energética digestión anaerobia, disponible en la comunidad de Nazareth; e, (c) evaluar los factores que influyen en la adopción potencial de biodigestores de pequeña escala en el resguardo Nazareth.

Para llevar a cabo los objetivos, en primera medida se obtuvo información georreferenciada de las áreas de generación de biomasa residual. Se seleccionaron al azar parcelas de 1m2, se colectó por triplicado la cobertura a nivel del suelo y se obtuvo la biomasa por unidad de superficie. Posteriormente, la biomasa colectada fue separada para determinar la dominancia, se elaboraron muestras compuestas con variedades vegetales similares y se eligieron seis variedades vegetales, estas fueron caracterizadas para evaluar su potencial de valorización energética en biodigestión anaerobia. De manera paralela y tomando como referencia una revisión de los factores que influyen en la adopción de biodigestores de pequeña escala en zonas rurales [6], se implementaron herramientas para la recolección de información de los hogares y



miembros de la comunidad, acerca de aspectos financieros, técnicos, ambientales, socioculturales e institucionales. Se encuestó respecto a escolaridad, nivel de ingresos, situación financiera y acceso a préstamos, percepción hacia los residuos, participación por género y edad en la toma de decisiones y en las labores de recolección de leña y su uso en la cocción de alimentos principalmente, tamaño de la familia, incentivos institucionales, entre otros factores.

A partir de este estudio se concluyó: las labores de manejo de un biodigestor podrían ser preferibles a las labores actuales para la recolección de leña, sin embargo, al evidenciarse que la mayoría de los hogares (14 de 16) usan gas de cilindro de manera complementaria a la madera, el biogás podría ser un sustituto del gas usado actualmente. De tal manera que la comunidad ya posee cierta variedad en sus fuentes de energía para la cocción de alimentos; la implementación de biodigestores en Nazareth es viable técnicamente, considerando una alta disponibilidad de biomasa con potencial de valorización energética en biodigestión; de los 16 hogares encuestados, 15 consideran deseable implementar biodigestores en sus hogares, estarían dispuestos a participar de talleres de formación e involucrarían a la mayoría de los miembros de la familia en su manejo; la comunidad posee capacidades de talento humano, formado en un nivel de pregrado, que favorece la sostenibilidad de la implementación de biodigestores. Esto se ve potenciado con la presencia de hogares con iniciativas de emprendimientos turísticos, que poseen acceso a créditos bancarios y que hacen un manejo permanente de biomasa residual vegetal y animal. La mayor barrera que se evidencia es un bajo ingreso promedio de los hogares, que potencialmente limitaría hacer una inversión inicial.

Referencias

- Acosta Pabuena, M., & Pasqualino, J. (2014). Potencial de uso de biogás en Colombia. Teknos Revista Científica, 14(2). [Link](#)
- Diaz, S., & Torres, H. (2019). Análisis de viabilidad de la implementación de biodigestores como alternativa energética para familias del área rural. Duke Law Journal, 1(1)
- Peñafiel Arcos, P. A., Collahuaso, E., Pérez - Martínez, A., & Diéguez - Santana, K. (2021). Caracterización del funcionamiento de un biodigestor tubular alimentado con estiércol porcino en la Amazonia Ecuatoriana. Ingenio Magno, 12(1).
- Walker, M., Zhang, Y., Heaven, S., & Banks, C. J. (2009). Potential errors in the quantitative evaluation of biogas production in anaerobic digestion processes. Bioresource Technology, 100(24), 6339-6346. [Link](#)
- Zelaya-Benavidez, E. A., & Peredo-Mancilla, D. (2022). Factores que influyen en la adopción de biodigestores de pequeña escala en zonas rurales: una revisión. Revista RedBioLAC.



Obtención de transportadores sólidos de oxígeno basados en níquel soportado en bauxita mediante diferentes tratamientos físico-químicos para la producción de hidrógeno a partir de Chemical Looping Reforming de metano

Alba N. Ardila A.^{a*}, Juan David Valencia González^a, Erasmo Arriola-Villaseñor^a.

^a Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín.

*Email: anardila@elpoli.edu.co

Resumen

El aumento sostenido de la demanda energética global, junto con la necesidad urgente de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, ha impulsado el desarrollo de tecnologías energéticas más limpias y sostenibles. En este contexto, el hidrógeno se posiciona como un vector energético clave debido a su alta densidad energética y su bajo impacto ambiental. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), para alcanzar los objetivos climáticos hacia 2050, se proyecta que el hidrógeno deberá cubrir al menos el 80 % de la demanda energética mundial. En concordancia, países como Estados Unidos han establecido metas concretas para la producción de hidrógeno bajo en carbono, con costos objetivo de \$2/kg para 2026 y \$1/kg para 2031, lo cual requiere de una progresiva reducción de la dependencia de combustibles fósiles y una mayor integración de fuentes renovables.

Entre las tecnologías emergentes de producción de hidrógeno, el *chemical looping reforming* (CLR) se destaca como una alternativa altamente eficiente [1]. Este proceso consiste en la transferencia cíclica de oxígeno entre reactantes, mediada por materiales conocidos como transportadores sólidos de oxígeno (TSO), los cuales deben presentar alta conversión de metano, elevada selectividad hacia hidrógeno, estabilidad térmica y durabilidad a lo largo de múltiples ciclos redox [2].

Dentro de los materiales más ampliamente estudiados para la aplicación como TSO, se encuentran los basados en minerales de hierro, como la bauxita, por su relativo bajo costo, gran disponibilidad y alta capacidad redox [3]. Sin embargo, estos materiales presentan limitaciones importantes, como la formación y deposición de coque durante el proceso, especialmente bajo condiciones de alta temperatura [4]. Además, de presentar baja actividad. Para mitigar este efecto, la incorporación de níquel ha demostrado ser una estrategia eficaz, ya que reduce significativamente la formación de coque, mejora la conversión de metano y aumenta la producción de hidrógeno, debido a la alta reactividad catalítica del metal [4]. Por otra parte, la aplicación de técnicas de ultrasonido ha demostrado promover la migración de especies metálicas hacia la superficie del material, así como promover la disminución en el tamaño de partícula, favorecer la formación de poros y generar cambios en la estructura cristalina del material [5].

En este estudio, desarrollado en el marco del proyecto “Proceso integral para la obtención de hidrógeno de bajas emisiones a partir de biogás producido en plantas de tratamiento de aguas



residuales usando transportadores sólidos de oxígeno de bajo costo” con código 93266, financiado bajo la Convocatoria No. 929 de 2022, Convenio 753-2021, en el marco del tema 2: “Medición de captura y secuestro de CO₂ y procesamiento para generación de hidrógeno”, se obtuvieron TSO basados en níquel a partir del mineral de bauxita mediante diversos tratamientos fisicoquímicos como la aplicación de ultrasonido, coprecipitación/deposición, calcinación e impregnación con níquel al 20% w.t., para su aplicación en la producción de hidrógeno vía CLR. La evaluación catalítica se realizó en un reactor tubular de lecho fijo operando a 900 °C, empleando 200 mg de material con un tamaño de partícula entre 100 y 300 μm. Se aplicó una atmósfera reactiva de 20 % CH₄ y 11,11 % CO₂ (relación molar CH₄/CO₂ de 1,8), con un flujo total de 125 mL/min. Las muestras fueron sometidas a cinco ciclos de operación (reducción, purga y oxidación) con una duración de 20, 10 y 20 minutos respectivamente, bajo una rampa térmica de 20 °C/min.

Las caracterizaciones fisicoquímicas mediante DRX, Raman y XPS revelaron la formación de fases activas como Fe₂O₃, NiO, NiFe₂O₄ y NiAl₂O₄, así como la reducción de especies indeseables como SiO₂ tras los tratamientos con KOH. Se evidenció que la impregnación con níquel promovió la formación de fases tipo espinela, altamente estables y con buena movilidad de oxígeno. A su vez, la sonicación previa a la impregnación mejoró la dispersión del Ni, como lo demostraron las diferencias entre los perfiles superficiales (XPS) y los contenidos totales (AAS), indicando un mejor anclaje e interacción metal-soporte. Por el contrario, cuando la bauxita fue sonicada sin posterior impregnación metálica, se observaron efectos negativos en la actividad, probablemente por encapsulamiento o bloqueo de sitios redox del hierro.

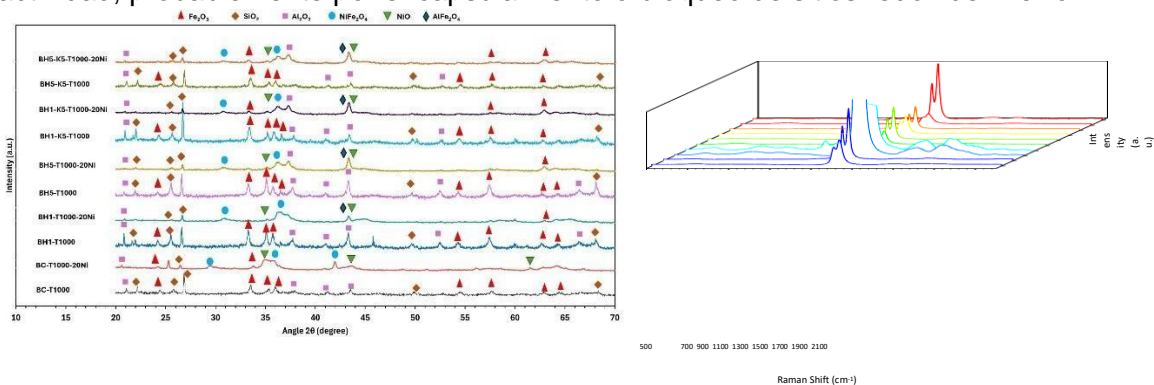


Figura 1. DRX de los materiales.

Figura 2. Espectros Raman de los materiales.

Los ensayos catalíticos de CLR a 900 °C (Figura 3), mostraron que las muestras sin níquel presentaron conversiones muy bajas de metano (<11 %), mientras que las impregnadas con Ni superaron el 70 % de conversión, con producciones de hidrógeno superiores a 10 mmol y eficiencias mayores a 50 mmol H₂/g TSO. Entre todas las muestras, BH5-T1000- 20Ni (sonicada e impregnada con Ni) presentó el mejor desempeño global, con mayor producción de H₂, mejor eficiencia y mayor estabilidad en ciclos redox, sin evidencias de sinterización o desactivación. Además, los TSO con Ni lograron conversiones de CO₂ cercanas al 100 %, lo que permitió una regeneración completa y continua del material, evitando acumulación de carbono y desactivación catalítica, confirmando su viabilidad como TSO en procesos de reformado de metano vía CLR.



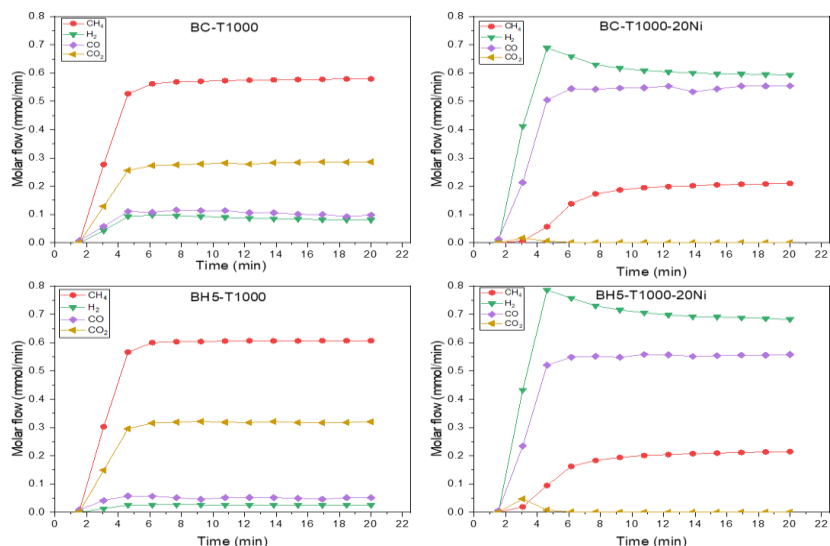


Figura 3. Evaluación de la reactividad de los materiales evaluados en el proceso CLR.

Referencias

- [1] Z. Hu, Z. Miao, J. Wu, and E. Jiang, "Nickel-iron modified natural ore oxygen carriers for chemical looping steam methane reforming to produce hydrogen," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 46, no. 80, pp. 39700–39718, 2021, doi: 10.1016/j.ijhydene.2021.09.242.
- [2] Y. Zhao, B. Jin, L. Zhang, W. Ji, and Z. Liang, "Microstructured iron-based spinel oxygen carriers derived from Prussian blue analogues for chemical looping CO₂ conversion," *Chem. Eng. J.*, vol. 454, no. October 2022, 2023, doi: 10.1016/j.cej.2022.140226.
- [3] A. Abdalazeez, W. Wang, and S. Abuelgasim, "Syngas production from chemical looping reforming of ethanol over iron-based oxygen carriers: Theoretical analysis and experimental investigation," *Chinese J. Chem. Eng.*, vol. 38, pp. 123–131, 2021, doi: 10.1016/j.cjche.2021.02.012.
- [4] S. Liang, Y. Liao, W. Li, C. Li, and X. Ma, "Enhanced stability of iron-nickel oxygen carriers in biomass chemical looping gasification by core-shell structure," *Chem. Eng. J.*, vol. 451, no. P4, p. 138964, 2023, doi: 10.1016/j.cej.2022.138964.
- [5] A. Khaleel, A. Adamson, and A. R. Pillantakath, "The impact of surface-impregnated versus support-dispersed Fe in Fe–Ni/γ-Al₂O₃ catalysts for partial oxidation of methane: Insights into the effect of Fe incorporation method on coking and on the reaction mechanism," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 81, no. May, pp. 643–653, 2024, doi: 10.1016/j.ijhydene.2024.07.191.



Valorización de los componentes de las baterías de ion litio desechadas en la síntesis catalizadores activos en la reacción water gas shift (WGS)

Erasmus Arriola-Villaseñor^{1,2}, Santiago A. Betancur B. ^{1,2}, Alba N. Ardila A.^{1*}, Melissa Arango Arias¹, Luz M. Ocampo-Carmona²

¹Research Group on Environmental Catalysis and Renewable Energies - CAMER, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín 050010, Antioquia Colombia.

²Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín - UNAL, Medellín Colombia, Medellín 050034, Antioquia, Colombia.

E-mail autor de correspondencia: anardila@elpoli.edu.co

Resumen

La creciente generación de residuos tecnológicos, como las baterías de ion litio (BILs), ha impulsado la búsqueda de estrategias sostenibles para su valorización debido al volumen de residuos generados al final de su vida útil [1] [2]. Estos residuos tecnológicos no solo representan un riesgo ambiental por su contenido metálico y electrolítico, sino que también constituyen una fuente valiosa de materiales reutilizables. Entre ellos, el grafito anódico es uno de los más abundantes y prometedores, particularmente por su potencial para ser reutilizado en la producción de grafeno, un material de alto valor estratégico por sus propiedades fisicoquímicas excepcionales. Diversos estudios han explorado la exfoliación de grafeno a partir de grafito comercial mediante técnicas en fase líquida asistidas por ultrasonido, sin embargo, dichas estrategias suelen requerir el uso de surfactantes o solventes orgánicos tóxicos para lograr una dispersión estable [2] [3]. En contraste, el grafito recuperado de BILs contiene impurezas residuales, tanto orgánicas como metálicas, que podrían favorecer la estabilidad del grafeno en medios acuosos sin necesidad de estabilizantes externos [4]. No obstante, el rol de estas impurezas ha sido escasamente estudiado, y aún existen interrogantes sobre su influencia en la exfoliación, la estabilidad coloidal del grafeno y su funcionalidad en aplicaciones catalíticas.

En este trabajo se propone una estrategia de valorización mediante la síntesis de catalizadores funcionales tipo carbono-metal, incorporando metales del cátodo mediante lixiviación ácida y tratamiento térmico. Los catalizadores fueron caracterizados estructural, textural y químicamente, y su actividad fue evaluada en la reacción de desplazamiento gas- agua (WGS), relevante para la producción limpia de hidrógeno. Este enfoque integral busca contribuir a la economía circular, transformando residuos peligrosos en materiales funcionales con aplicaciones en energía.

La síntesis de materiales incluyó una mezcla cátodo y ánodo (comercial o de BILs) en diferentes proporciones, tratada con 30 mL de H₂SO₄ 5 M. Después del proceso de lixiviación, se realizó una filtración para separar cada sólido del sobrenadante, el cual fue analizado por AAS. Posteriormente, el sólido se lavó con agua desionizada hasta alcanzar un pH cercano a la



neutralidad, y se secó en estufa a 80 °C hasta su completo secado. Luego de la etapa de sonicación, se pesó 2.5 g del material previamente lixiviado y secado, el cual se dispersó en 250 mL de agua desionizada en un vaso de precipitado de 400 mL. Esta suspensión se sometió a un tratamiento ultrasónico durante 2 horas, con una amplitud del 80%, en modo de pulsos (3 segundos de sonicación por 1 segundo de descanso). La energía suministrada fue aproximadamente 150.000 Wh. Finalmente, los materiales (**Tabla 1**) fueron calcinados en una mufla bajo atmósfera de aire. El tratamiento térmico se realizó incrementando la temperatura desde ambiente hasta 350 °C, con una velocidad de calentamiento de 5 °C/min. Una vez alcanzada la temperatura final, los materiales se mantuvieron a esa condición durante 3 horas en régimen estático. La composición y estructura de los materiales fueron evaluadas por FRX, AAS, BET, Raman y HRTEM. La actividad catalítica se evaluó mediante espectroscopía DRIFT-FTIR, utilizando una mezcla reactiva CO:H₂O:N₂ y monitoreando la formación de CO₂.

Los análisis de FRX y AAS (**Tabla 1**) confirmaron que el contenido metálico (principalmente Co y Mn) depende directamente de la proporción de cátodo en la mezcla inicial. PRI3 y PRI5 (50% cátodo) presentaron los mayores contenidos de Co medidos por AAS (12.7 y 12.4%, respectivamente), mientras que las muestras sin cátodo mostraron concentraciones despreciables. Las propiedades texturales evaluadas por BET revelaron áreas superficiales moderadas (2.9-5.9 m²/g), siendo mayor en PRI3, junto con un volumen de poro de 0.007 cm³/g y un diámetro promedio de 6.95 nm, lo que sugiere una estructura mesoporosa moderada. Los espectros Raman mostraron bandas características del carbono desordenado (D ~1332-1350 cm⁻¹) y grafitico (G ~1585-1600 cm⁻¹), con mayor relación I_D/I_G en PRI3 y PRI5, indicando una mayor densidad de defectos estructurales, posiblemente inducidos por la incorporación de metales de transición en la matriz grafitica [6] [3].

La actividad catalítica se evaluó mediante espectroscopía DRIFT-FTIR, utilizando una mezcla reactiva CO:H₂O:N₂ y monitoreando la formación de CO₂. Los resultados mostraron un aumento progresivo en la banda característica del CO₂ (2350-2400 cm⁻¹) con la temperatura, especialmente en PRI3, lo que indica una mayor conversión de CO por la reacción water gas shift (WGS). Por el contrario, PRI2 y PRI4, sin contenido metálico significativo, mostraron baja o nula actividad. En algunos casos, como PRI3, se observó un comportamiento catalítico estable incluso a temperaturas inferiores a 400 °C, lo que sugiere una eficiencia potencial a menores requerimientos energéticos.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de los catalizadores sintetizados.

Código	Tipo de ánodo	Proporción (%) Ánodo-Cátodo	Composición metálica por AAS (% w/w)							Área Superficial BET (m ² /g)	Volumen Poro BHJ (cm ³ /g)	Diámetro Poro BHJ (nm)
			Co	Ni	Mn	Li	Cu	Al	Zn			
Cátodo	-	0-100	25.3	0.08	15.40	0.04	0.38	1.59	0.17	-	-	-
PRI 1	Bils	100-0	0.16	0.00	0.03	0.03	1.49	0.78	0.15	3.89	0.002	9.81
PRI 2	Bils	100-0	0.00	0.00	0.00	0.09	0.01	0.00	0.01	2.89	0.002	10.21
PRI 3	Bils	50-50	12.7	0.01	3.67	0.03	0.01	0.00	0.06	5.90	0.007	6.95
PRI 4	Comercial	100-0	0.00	0.00	0.00	0.11	0.01	0.70	0.17	3.57	0.003	10.89
PRI 5	Comercial	50-50	12.4	0.02	4.41	0.00	0.01	0.22	0.06	3.33	0.002	11.17
PRI 6	Bils	80-20	2.52	0.00	0.19	0.02	0.01	0.75	0.04	-	-	-
PRI 7	Bils	90-10	0.24	0.00	0.00	0.12	0.01	0.66	0.06	-	-	-
PRI 8	Bils	95-5	0.15	0.00	0.00	0.01	0.01	0.51	0.00	-	-	-



References

- [1] E. Arriola-villaseñor *et al.*, “Graphene Recovery in Both Dispersed and Decanted Fractions from Lithium-Ion Battery Graphite via Sonication,” *Recycling*, vol. 10, no. 119, pp. 1–33, 2025, doi: 10.3390/recycling10030119.
- [2] I. Khan, W. Shixing, E. Ullah, M. Sajjad, L. Zhang, and L. Fu, “Enhanced metal recovery using ultrasound assisted leaching (UAL). An overview,” *J. Mol. Liq.*, vol. 410, no. July, p. 125545, 2024, doi: 10.1016/j.molliq.2024.125545.
- [3] Y. Zhao, X. Yuan, L. Jiang, X. Li, J. Zhang, and H. Wang, “Reutilization of cathode material from spent batteries as a heterogeneous catalyst to remove antibiotics in wastewater via peroxymonosulfate activation,” *Chem. Eng. J.*, vol. 400, no. June, p. 125903, 2020, doi: 10.1016/j.cej.2020.125903.
- [4] A. V. Tyurnina *et al.*, “Ultrasonic exfoliation of graphene in water: A key parameter study,” *Carbon N. Y.*, vol. 168, no. 2020, pp. 737–747, 2020, doi: 10.1016/j.carbon.2020.06.029.
- [5] M. L. Divya, S. Natarajan, and V. Aravindan, “Graphene from Spent Lithium-Ion Batteries,” *Batter. Supercaps*, vol. 5, no. 6, pp. 1–12, 2022, doi: 10.1002/batt.202200046.
- [6] B. Gürünlü, Ç. Taşdelen-Yücedağ, and M. Bayramoğlu, “Graphene synthesis by ultrasound energy-assisted exfoliation of graphite in various solvents,” *Crystals*, vol. 10, no. 11, pp. 1–12, 2020, doi: 10.3390/cryst10111037.



TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: VALORIZACIÓN DE RESIDUOS POLIMÉRICOS-VRESPOL

Caracterización de aceites pirolíticos obtenidos de residuos de posconsumo de llantas y poliestireno expandido (EPS)

Eliana Berrio Mesa^a, Alba Nelly Ardila Arias^b, Erasmo Arriola-Villaseñor^c Luz Marina Ocampo^d

^a Politécnico Jaime Isaza Cadavid - Universidad Nacional de Colombia, Medellín

^{b,c} Politécnico Jaime Isaza Cadavid, Medellín

^d Universidad Nacional de Colombia, Medellín

Email: ^a eberriom@unal.edu.co, ^b anardila@elpoli.edu.co, ^c lmocampo@unal.edu.co

Resumen

La valorización energética de residuos poliméricos como el caucho de llantas fuera de uso y el poliestireno expandido (EPS) representa una estrategia viable dentro de un modelo de economía circular. Mediante procesos termoquímicos como la pirólisis térmica, es posible obtener aceites pirolíticos con potencial como combustibles alternativos. Este trabajo presenta la caracterización fisicoquímica e instrumental de aceites pirolíticos derivados de la pirólisis y co-pirólisis de llantas y EPS, evaluando su compatibilidad con combustibles convencionales [1], [2], [3].

Metodología

Se realizaron ensayos de pirólisis térmica en un reactor semi-batch operado con atmósfera de nitrógeno (90-95 mL/min) a temperaturas entre 400 y 650 °C. El caucho de llantas fue suministrado por una empresa recicladora, con granulometría malla 20 y libre de impurezas metálicas. El EPS fue recolectado en el laboratorio, triturado y compactado mecánicamente para mejorar su manejo térmico. Se procesaron residuos de caucho de llantas, EPS y una mezcla 1:1. Los productos líquidos fueron recolectados en trampas caliente (180 °C) y fría (5 °C) (Figura 1). Los aceites obtenidos se caracterizaron mediante densidad, viscosidad, índice de acidez, contenido de cenizas y espectroscopía FTIR [4], [5], según las Normas de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM).

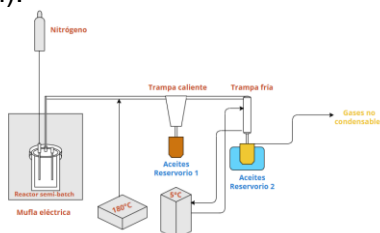


Figura 1. Esquema del sistema de reacción de pirólisis térmica de residuos poliméricos y aceites recolectados en trampas caliente y fría para EPS, llantas y mezcla.



Resultados

La pirólisis de EPS generó rendimientos líquidos hasta del 71,5 % a 600 °C, sin formación de fracciones sólidas. La pirólisis de llantas produjo hasta 47,8 % de aceite y 52,7 % de char a 550 °C. La co-pirólisis mostró una sinergia parcial, con un rendimiento máximo de aceite del 20,6 % a 650 °C y reducción del char. Los espectros FTIR revelaron que los aceites de EPS contenían grupos aromáticos y oxigenados derivados de estireno (C=O, C-O, C-H aromático), mientras que los aceites de llantas mostraron una mayor proporción de hidrocarburos alifáticos y aromáticos con menor contenido de oxígeno. Los análisis fisicoquímicos permitieron identificar que los aceites pirolíticos de la trampa caliente presentaron mayor viscosidad y contenido de cenizas, lo cual limita su aplicación directa. En contraste, las fracciones obtenidas en la trampa fría, especialmente del EPS y la co-pirólisis, mostraron viscosidades y densidades más cercanas a las del diésel y fuel oils marinos, sugiriendo una posible aplicación como mezcla en combustibles (Tabla 1). La alta acidez en todas las fracciones sigue siendo una limitante, por lo cual se recomienda implementar procesos catalíticos que mejoren la calidad de los aceites.

Tabla 1. Resultados análisis fisicoquímicos de aceites pirolíticos

Aceite pirolítico	Cenizas (%)	Densidad (20°C) (g/mL)	Densidad (40°C) (g/mL)	Índice de acidez (mgKOH/g)	Viscosidad cinemática (mm ² /s) a 40°C	Viscosidad dinámica (cP) a 40°C	Gravedad API (60°F)
Aceite caucho de llantas (Trampa caliente)	0,0099	0,9307	0,9172	12,0754	5,72	5,24	20,00
Aceite caucho de llantas (Trampa fría)	0,0423	0,8756	0,8842	6,1591	1,87	1,66	25,40
Aceite EPS (Trampa caliente)	0,0457	0,9335	0,9184	4,1085	1,02	0,93	19,80
Co-pirólisis (Trampa caliente)	0,0000	0,9352	0,9218	8,2780	2,44	2,24	19,20
Co-pirólisis (Trampa fría)	0,0131	0,9077	0,8907	4,0706	0,94	0,84	24,30

*El aceite de EPS (trampa fría) no ha sido caracterizado hasta el momento, dado que el bajo rendimiento obtenido no permitió reunir la cantidad mínima necesaria para llevar a cabo los análisis correspondientes.

Los aceites pirolíticos de residuos poliméricos muestran propiedades comparables a combustibles industriales y marinos, aunque presentan altos índices de acidez. Se plantea la implementación de pirólisis catalítica para mejorar la calidad del aceite, usando catalizadores de hierro soportados en char de llanta, promoviendo un modelo de valorización integral.

Referencias

- [1] B. Ramani, A. Anjum, E. Bramer, W. Dierkes, A. Blume, and G. Brem, "A comprehensive study on the effect of the pyrolysis temperature on the products of the flash pyrolysis of waste tires," *J Environ Chem Eng*, vol. 13, no. 2, Apr. 2025, doi: 10.1016/j.jece.2025.115468.
- [2] A. Verma, S. Sharma, and H. Pramanik, "Pyrolysis of waste expanded polystyrene and reduction of styrene via in-situ multiphase pyrolysis of product oil for the production of fuel range hydrocarbons," *Waste Management*, vol. 120, pp. 330–339, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.wasman.2020.11.035.



- [3] A. A. Al-Qadri, U. Ahmed, N. Ahmad, A. G. Abdul Jameel, U. Zahid, and S. R. Naqvi, "A review of hydrogen generation through gasification and pyrolysis of waste plastic and tires: Opportunities and challenges," Aug. 05, 2024, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.ijhydene.2024.06.207.
- [4] B. Qu, Y. Zhang, T. Wang, A. Li, Z. Wu, and G. Ji, "Dynamic pyrolysis characteristics, kinetics and products analysis of waste tire catalytic pyrolysis with Ni/Fe-ZSM-5 catalysts using TG-IR-GC/MS," *Catalysts*, vol. 11, no. 9, Sep. 2021, doi: 10.3390/catal11091031.
- [5] ASTM, "Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration D664-24." [Online]. Available: <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D664-24>



TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: CIENCIA DE DATOS EN VALORIZACIÓN DE RESIDUOS-CDVR

Contaminantes emergentes y el agua: conexión invisible entre fuentes, riesgos y oportunidades de valorización

Francisco José Valencia Alaix^{a,b,*}, **Ángela Adriana Ruiz Colorado**^{b,*}

^a Consultor independiente Biotecnología y Ciencia de Datos, Medellín

^b Grupo de investigación Bioprocesos y Flujos Reactivos, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

Email: fjvalenc@unal.edu.co – aaruz@unal.edu.co

Resumen

Los contaminantes emergentes (CEs) presentes en suelos, cuerpos de agua y residuos rurales y urbanos representan tanto un desafío ambiental como una oportunidad para su valorización en el marco de la economía circular. Esta revisión plantea un enfoque integral para su caracterización, identificación, análisis de riesgos y aprovechamiento, mediante la integración de biología cuantitativa (Biotecnología, bioinformática, modelamiento matemático termodinámico basado en información genómica y ciencia de datos), junto con tecnologías orientadas a transformar residuos contaminados en recursos valiosos.

Se examina el estado actual de los CEs en contextos urbanos y rurales, con énfasis en la región de Antioquia, Colombia, reconociendo al agua como vehículo conector, medio de análisis y eje estratégico para su monitoreo y valorización. Los CEs comprenden productos farmacéuticos, cosméticos, disruptores hormonales, pesticidas, aditivos industriales y microorganismos patógenos y no patógenos vinculados a sistemas productivos o ecosistemas específicos. Su creciente atención se debe a los avances en técnicas analíticas como la cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (LC-MS/MS), la espectroscopia de infrarrojo y las herramientas ómicas, que permiten detectarlos en concentraciones de nanogramos o picogramos por litro.

El objetivo de esta presentación es describir métodos de biología cuantitativa y ciencia de datos aplicables al desarrollo de investigaciones adaptadas a las condiciones locales y a las características específicas de los residuos. Se incluyen técnicas de cuantificación mediante LC-MS/MS, análisis metabolómico y transcriptómico, identificación de rutas de degradación, detección de microplásticos y biomarcadores, así como estrategias para reconstrucción metabólica, desarrollo de modelos *in silico*, acoplamiento molecular, diseño de proteínas y aptámeros. Estas herramientas buscan reducir la incertidumbre existente en Colombia frente a los CEs, identificar fuentes y riesgos, y proponer alternativas de valorización que disminuyan el impacto ambiental en comparación con tratamientos convencionales.



El uso de biosensores y tecnologías ómicas permite establecer sistemas de alerta temprana capaces de detectar alteraciones metabólicas o presencia de especies con potencial riesgo a la salud ambiental y humana en forma anticipada a la aparición de efectos visibles. Estas aproximaciones facilitan la asociación de organismos con actividades productivas, la evaluación de riesgos y la maximización de la recuperación de recursos con menor impacto ambiental.

En contextos con vacíos normativos, como el colombiano, se evidencia un control insuficiente de vertimientos hospitalarios y agroindustriales, así como una baja adopción tecnológica. Se propone una integración estratégica entre ciencia de datos, biotecnología y digitalización para el monitoreo de residuos en sectores rurales, urbanos, agrícolas y mineros. El enfoque multiómico (metabolómica, lipidómica y transcriptómica) se posiciona como una herramienta clave para el seguimiento de CEs, facilitando el desarrollo de modelos predictivos robustos. Finalmente, se subraya la necesidad urgente de fortalecer la bioseguridad, la biocustodia ambiental y la gobernanza del agua en América Latina.

Referencias

[1] Gracia-Lor, E., Sancho, J. V., & Hernández, F. (2011). Multi-class determination of around 50 pharmaceuticals in environmental samples by LC-MS/MS. *Journal of Chromatography A*, 1218(16), 2264–2275. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2011.02.026>

[2] Rapp-Wright, H., Rodriguez-Mozaz, S., Álvarez-Muñoz, D., Barceló, D., & Barron, L. P. (2023). Risk assessment of endocrine disrupting compounds in European river catchments. *Molecules*, 28(16), 5994. <https://doi.org/10.3390/molecules28165994>

[3] Perkins, R., Barron, L., Glauser, G., & Goulson, D. (2024). Down-the-drain pathways for parasiticides: Estimating aquatic pollution. *Science of The Total Environment*, 917, 170175. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170175>

[4] Kumar, A., Singh, B., & Patel, M. (2023). Metabolomic approaches for emerging contaminants valorization in wastewater treatment. *Environmental Science & Technology*, 57(8), 3245–3258. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c08542>

[5] National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS). (2024, marzo). Emerging contaminants and circular economy approaches. Recuperado de <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/emerging-contaminants/>



TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PARA EL DESARROLLO DE NUEVOS MATERIALES-VARMAT

Una aproximación experimental al aprovechamiento del raquis de banano colombiano (*Musa spp.*, variedad *Gros Michel*) como fuente de fibra vegetal para refuerzo de materiales

Angie Daniela Molina-Jiménez^a, Pedro Vanegas-Mahecha^a, Luis Octavio González-Salcedo^{a*}

^a Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Facultad de Ingeniería y Administración, Palmira

*Autor de Correspondencia: logonzalezsa@unal.edu.co

Resumen

Palabras claves: composite, fibra vegetal, mitigación ambiental, raquis del banano

Colombia, noveno productor mundial de banano (alrededor del 3% del total global), genera grandes volúmenes de residuos agrícolas como el raquis, generalmente descartado [1]. La variedad *Gros Michel*, valorada por sus propiedades organolépticas y estructurales [2], aún se cultiva en zonas montañosas del Valle del Cauca, especialmente en sistemas familiares y huertas mixtas.

Este estudio, en el marco del Proyecto HERMES 60808, evalúa el raquis de *Gros Michel* como fuente de fibra vegetal para refuerzo en materiales compuestos, caracterizando de manera preliminar sus propiedades físicas, morfológicas y mecánicas en tres estados de madurez: verde, maduro y sobremaduro. Aunque existen investigaciones sobre el uso de residuos bananeros en harinas, almidones, nanofibras y fibras para materiales constructivos, aún son limitadas para la variedad en estudio, y en particular para el caso colombiano [3].

Los raquis se recolectaron en la vereda San Isidro (Municipio de Trujillo, Valle del Cauca), donde se realizó la extracción de la fibra, la cual se caracterizó en la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. La extracción de la fibra se realizó mediante un dispositivo artesanal desarrollado en el Taller de Maquinaria Agrícola. Las fibras se clasificaron en largas, medias y cortas. En el Laboratorio de Operaciones Unitarias y de Procesos Agroindustriales se midieron longitud y espesor, contenido de humedad (antes y después de un secado controlado a 40°C por 24 h), y densidad por desplazamiento del volumen utilizando aceite como fluido de referencia. Se realizaron observaciones morfológicas mediante microscopía óptica (Zeiss Stemi 306) y de fluorescencia (Zeiss HBO 50/AC, filtro FICT) en el Centro de Imagen y Microscopía. En el Laboratorio de Materiales se determinó la resistencia a la tensión. Los resultados (Tabla 1 y Figura 1) muestran que [4], las fibras del raquis maduro presentan mayor densidad, buena continuidad estructural y dimensiones adecuadas. Las verdes, aunque con mayor contenido de humedad, ofrecen flexibilidad, cohesión celular y potencial para refuerzo si se estabiliza su humedad. En contraste, las sobremaduras evidencian degradación física y química, con



densidad reducida ($0,463 \text{ g/cm}^3$), paredes celulares deformadas y pérdida de integridad, lo que limita su aplicación estructural.

Tabla 1. Caracterización de fibras según estado del raquis.

Estado del raquis	Tipo de fibra	Longitud (mm)	Espesor (mm)	Humedad (%) *	Densidad (g/cm^3)
Maduro	Larga	28,19	2,87	10,83/7,02	1,021
	Media	22,02	1,17		
	Corta	9,79	1,23		
Verde	Larga	29,60	1,20	12,49/7,17	0,528
	Media	22,82	1,40		
	Corta	12,10	1,35		
Sobremaduro	Larga	33,80	1,39	12,18/6,63	0,468
	Media	22,35	2,37		
	Corta	14,86	1,59		

*Contenido de humedad antes y después de secado controlado a 40°C por 24 h.

Las observaciones microscópicas confirmaron estas tendencias [5]. Las fibras maduras mostraron estructura cilíndrica continua, filamentos secundarios bien adheridos y coloración homogénea, lo que indica un equilibrio entre lignificación y humedad. Las verdes presentaron haces compactos, cohesión interna y brillo superficial, asociado con mayor contenido hídrico. Las sobremaduras, en cambio, se observaron desorganizadas, con hebras desprendidas y evidencias de colapso celular.

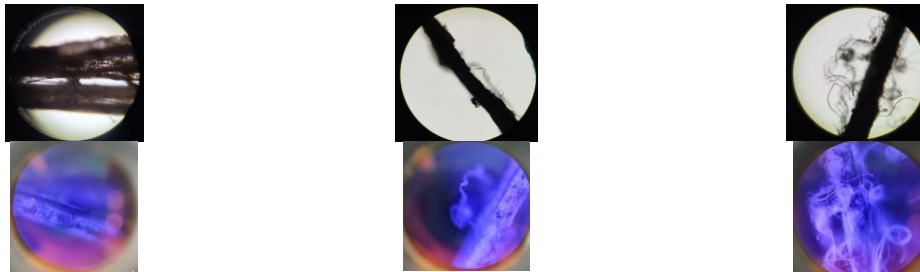


Figura 1. Morfología de las fibras extraídas de raquis de banana en estados verde, maduro y sobremaduro, observadas mediante en microscopía óptica (Zeiss Stemi 306, fila superior; Zeiss HBO 50/AC, filtro FICT, fila inferior). Se aprecia la progresiva pérdida de estructura a medida que avanza la maduración del raquis.

En conclusión, las fibras del raquis maduro son las más adecuadas para su uso como refuerzo vegetal en materiales compuesto. Las verdes representan una opción viable si se controla adecuadamente su humedad, mientras que las sobremaduras no son recomendables debido a su deterioro estructural. Estos hallazgos respaldan el potencial de aprovechamiento del raquis de banana en soluciones constructivas sostenibles, y sientan una base experimental para una siguiente fase orientada al diseño y evaluación mecánica de morteros reforzados con estas fibras.

Referencias

- [1] R.A. Hoyos, *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 77(3), (2024) 10795-10796.
- [2] M.K. Smith, *et al.*, *Crop Protection* 113, (2018) 84-89.
- [3] G. García, *et al.*, *Journal of Building Engineering* 98, (2024) Art. 111267.
- [4] N. Mokshina, *et al.*, *Fibers* 6, (2018), Art. 20.
- [5] P. Badanayak, *et al.*, *Journal of Natural Fibers* 20(1), (2023) Art. 2168821



Caracterización de un residuo generado en una industria transformadora de vidrio

Carolina Bedoya Muñoz^a, Luisa Fernanda Mosquera Idrobo^a, Janneth Torres Agredo^{a*}

^a Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Palmira

Grupo de Investigación Materiales y Medio Ambiente (GIMMA)

Semillero de investigación: Residuos industriales-Una mirada a la economía circular REINICIAR

Email: ^a jtorresa@unal.edu.co

Resumen

La disposición final de residuos es cada vez menos viable; por ejemplo, en Colombia el 23% de los rellenos sanitarios y celdas de contingencia poseen una vida útil menor a tres años, y 18 rellenos sanitarios ya tienen la vida útil vencida [1]. Al considerar la relevancia de la gestión integral de los residuos, este estudio tiene como objetivo caracterizar un residuo de una industria colombiana dedicada a la transformación de vidrios; del cual se genera de manera aproximada una tonelada mensual que va a disposición final. Lo anterior, con el fin de identificar alternativas de aprovechamiento basadas en la caracterización química, física, mineralógica y de peligrosidad. El residuo objeto de estudio consiste en el polvo que se genera en la etapa del pulido del vidrio; el proceso se realiza con agua, generando una mezcla de esta con el polvo de vidrio (PV). El agua residual debe ser tratada con floculantes para que posteriormente el polvo de vidrio pueda ser gestionado como residuo sólido. Una vez el PV fue acondicionado, se aplicó el ensayo de pérdida al fuego (LOI) y se evaluó la composición química con FRX (tabla 1).

Tabla 1. Fluorescencia de rayos X del polvo de vidrio

Elemento	%	Elemento	%
Silicio (SiO ₂)	72,39	Cloro (Cl)	0,01
Sodio (Na ₂ O)	14,15	Estaño (Sn)	0,01
Calcio (CaO)	10,72	Zirconio (Zr)	0,01
Aluminio (Al ₂ O ₃)	1,52	Fósforo (P ₂ O ₅)	73 ppm*
Potasio (K ₂ O)	0,48	Estroncio (Sr)	62 ppm*
Magnesio (MgO)	0,23	Plomo (Pb)	59 ppm*
Azufre (SO ₃)	0,23	Zinc (Zn)	28 ppm*
Hierro (Fe ₂ O ₃)	0,11	Rubidio (Rb)	25 ppm*
Titanio (TiO ₂)	0,08	Itrio (Y)	10 ppm*
Cobre (Cu)	0,03	LOI	7,05

El elevado contenido de sílice puede favorecer su comportamiento puzolánico, al permitir la reacción con el hidróxido de calcio para formar geles de silicato de calcio. Esta reacción contribuye al desarrollo de la resistencia mecánica del concreto, especialmente cuando el tamaño de partícula del residuo es igual o inferior al del cemento. Con respecto a compuestos como el



óxido de sodio y óxido de calcio, se ha identificado que son beneficiosos para lograr una mayor resistencia en aplicaciones civiles [2]. Se realizó el ensayo de DRX para la caracterización mineralógica, en donde se encontraron fases cristalinas que corresponden al 10.26% de la muestra y el 89.75% restante correspondiente a material amorfo. Para considerar las características de peligrosidad del residuo se evaluó la inflamabilidad, la cual fue negativa; corrosividad y reactividad que estuvieron dentro de los límites de la norma; y la toxicidad con TCLP, encontrándose que los metales estaban dentro de los límites permisibles de la normativa colombiana. Para la caracterización morfológica se tomaron micrografías por MEB (figura 1), en donde se observó que el PV tiene una forma fragmentada irregular, muy similar a la del cemento portland [3].

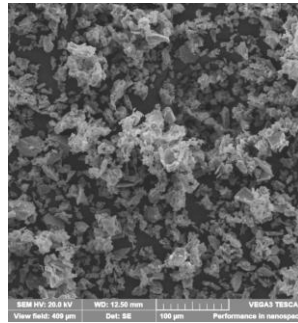


Figura 1. Micrografía (SEM) del polvo de vidrio a 500X

De acuerdo con la composición físico-química similar a la de materiales cementicios suplementarios, el PV presenta múltiples aplicaciones en ingeniería civil, como en geopolímeros, morteros, sustitución parcial de cemento (cuando su tamaño de partícula es $< 100 \mu\text{m}$) y áridos. Además, ha demostrado mejorar las propiedades de los ladrillos al reemplazar parcialmente la arcilla. Así, el PV se identifica como un residuo de gran interés actual en el panorama de la economía circular por su potencial de aprovechamiento [4].

Referencias

- [1] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2023). Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos 2021. <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Informe-Nacional-de-Disposicion-Final-de-Residuos-Solidos.pdf.pdf>
- [2] Li, Y., Luo, Y., Zhou, H., Zhong, X., Zhou, Z., Li, J., & Hou, H. (2024). Preparation of environmental-friendly cementitious material from red mud and waste glass sludge by mechanical activation. *Construction and Building Materials*, 423, 135861. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2024.135861>
- [3] Deng, Q., Zou, S., Xi, Y., & Singh, A. (2023). Development and Characteristic of 3D-Printable Mortar with Waste Glass Powder. *Buildings*, 13(6), 1476. <https://doi.org/10.3390/buildings13061476>
- [4] Nodehi, M., & Mohamad Taghvaei, V. (2022). Sustainable concrete for circular economy: a review on use of waste glass. *Glass Structures and Engineering*, 7(1), 3–22. <https://doi.org/10.1007/S40940-021-00155-9/METRICS>



Exploración de la valorización de cenizas de fondo de carbón en Colombia: Estudio de caso en ladrilleras

Luisa Fernanda Mosquera Idrobo^a, Carolina Bedoya Muñoz^b, Janneth Torres Agredo^{c*}.

^{a,b,c} *Universidad Nacional de Colombia, Palmira- Valle del Cauca, Colombia. Grupo de Investigación Materiales y Medio Ambiente (GIMMA). Semillero de investigación: Residuos industriales-Una mirada a la economía circular REINICIAR*

Email:^c jtorresa@unal.edu.co

Resumen

Las cenizas de fondo de carbón (CFC) son un residuo de naturaleza gruesa que se genera tras la combustión de carbón [1]. Este residuo puede entenderse como un recurso sostenible con gran potencial para producir materiales de valor agregado. A nivel internacional, las cenizas se han evaluado como materia prima para la fabricación de hormigón, cemento, geopolímeros y ladrillos [1][2]. Sin embargo, las aplicaciones empleadas para el aprovechamiento de CFC no pueden procesar altos volúmenes; más del 85% de este residuo aún se dispone en estanques de cenizas y vertederos a cielo abierto [2]. En Colombia, las CFC han sido evaluadas como reemplazo parcial del cemento en morteros [3] y como materia prima para la fabricación aditiva (impresión 3D) [4]. La valorización de este residuo en el país es aún limitado y requiere de mayor investigación; esto evidencia la necesidad de continuar explorando el potencial uso de este residuo en diferentes aplicaciones.

En este sentido, este estudio presenta un diagnóstico preliminar sobre el estado actual de la gestión de cenizas de fondo de carbón generadas en hornos de cocción de industrias ladrilleras del Valle del Cauca. Para este trabajo, inicialmente se identificaron y contactaron ladrilleras de la región; en cuatro de ellas se realizaron visitas técnicas y se llevó a cabo el muestreo de las cenizas. A partir de estas visitas se evidenció la ausencia de estrategias de valorización para este residuo, situación que puede estar relacionada principalmente al desconocimiento del potencial de las CFC como un recurso valioso. La disposición final de este residuo se da en rellenos sanitarios y en algunos casos se disponen en terrenos baldíos (Figura 1.b). Es importante mencionar que el almacenamiento o disposición inadecuada de CFC representa un problema ambiental, debido a la posible lixiviación de sustancias tóxicas al suelo y a las aguas subterráneas [2]. Respecto a la cantidad generada, solamente una empresa ha realizado la cuantificación de este residuo, reportando un valor de 20 toneladas mensuales. Adicionalmente, se observó que las muestras de cenizas recolectadas presentaron heterogeneidad en tamaño de partícula y color, diferencias que pueden estar relacionadas con el proceso de combustión de cada empresa.



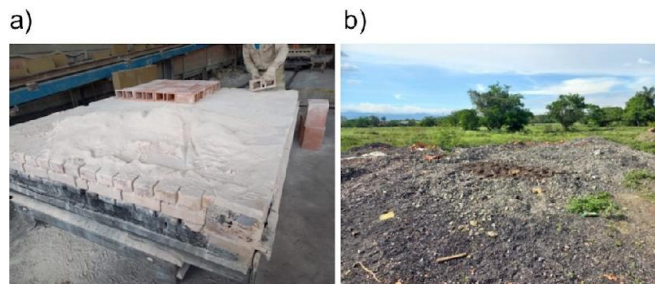


Figura 1. CFC de diferentes industrias ladrilleras. a) CFC después del proceso de cocción de ladrillos; b) Disposición final de CFC.

De acuerdo con lo anterior, es importante encontrar alternativas para la valorización de CFC generadas en industrias ladrilleras de la región. En la literatura, se ha reportado que las cenizas de fondo de carbón presentan un gran potencial para ser utilizadas como material de reemplazo en la fabricación de ladrillos de arcilla [2], ya que la composición química de CFC es similar a las arcillas empleadas para la elaboración de este material [5]. Esto es de gran relevancia para que las cenizas pueden utilizarse como materia prima en el proceso de producción del ladrillo. La valorización de CFC como material de construcción se encuentra alineada con los principios de la economía circular, donde los residuos se convierten en un recurso valioso, conservando así los recursos naturales y disminuyendo los impactos ambientales.

Para futuras investigaciones, las autoras esperan realizar la caracterización química, física, mineralógicas y ambiental de este residuo, con el fin de que puedan utilizarse como material en la fabricación de ladrillos de arcilla y escalar su aplicación a nivel industrial.

Palabras claves: cenizas de carbón, ladrilleras, economía circular, valorización de residuos.

Referencias

- [1] B.F. Aygun, T. Bilir, M. Uysal. Coal bottom ash and its applications in cement and concrete technologies: a review. *Discover Civil Engineering*. 2024. p.1-86.
- [2] H. Zhou, R. Bhattarai, Y. Li, B. Si, X. Dong, T. Wang, Z. Yao. Towards sustainable coal industry: Turning coal bottom ash into wealth. *Science of the Total Environment*. 2022. p. 1-15
- [3] J.F. Gómez-Pérez, D.L. Rugeles, J.S. Arango Arroyave, H.A. Agudelo, A. Sapi, Z. Kónya. Mechanical and environmental assessment of mortars with high coal-bottom ash replacement from local industry. *Constr Build Mater*. 2025. p. 1-7
- [4] M.A. Villaquirán-Cacedo, A. Fernández-González, D.A. Fernández-García, R. Mejía de Gutiérrez. Valorization of a low-quality coal ash, in the preparation of alkali activated inks for applications in 3D additive manufacturing. *Constr Build Mater*. 2023. p. 1-13.
- [5] J. Torres-Agrede, L. F. Mosquera-Idrobo, P. Paz-Villegas, M. F. Díaz-Huertas. Evaluation of Coal Bottom Ash for clay brick manufacturing: a preliminary study. *Revista UIS Ingenierías*. 202. p. 171-170.



Caracterización de los sedimentos generados en el proceso de potabilización y su potencial de aprovechamiento en alternativas de economía circular

Eliana Llano^a, Sara Muñoz^b, Rodolfo Mira^c.

^a Empresas Públicas de Medellín E.S.P. -EPM-, Medellín

^b Empresas Públicas de Medellín E.S.P. -EPM-, Medellín

^c Empresas Públicas de Medellín E.S.P. -EPM-, Medellín

Email: ^a eliana.llano@udea.edu.co

Resumen

En las plantas de tratamiento de agua potable operadas por Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (EPM), se generan anualmente aproximadamente 13.000 toneladas de sedimentos deshidratados. Estos sedimentos se originan principalmente durante la etapa de sedimentación del proceso de potabilización, en la cual se remueven las partículas suspendidas del agua cruda mediante la acción de coagulantes y floculantes. Debido a su bajo contenido orgánico y su alto nivel de humedad, la incineración de estos residuos resulta ineficiente. En consecuencia, suelen disponerse en escombreras, lo que implica altos costos tanto ambientales como económicos. Esta situación no solo afecta al medio ambiente, sino que también representa un desafío para la competitividad y sostenibilidad del sector agua.

Este estudio se centra en la caracterización físico-química, mineralógica y mecánica de los sedimentos deshidratados generados en el proceso de potabilización, con el fin de determinar su potencial de aprovechamiento en distintas aplicaciones industriales bajo principios de economía circular. Durante el estudio se tomaron muestras representativas de sedimentos deshidratados provenientes de 12 plantas de potabilización de EPM, recolectadas en dos condiciones climáticas del año: temporada de lluvias y temporada seca. La investigación incluyó un análisis integral de las propiedades químicas, físicas y mecánicas de cada uno de estos materiales, con el fin de evaluar su idoneidad para diversas aplicaciones en línea con los principios de economía circular.

Los ensayos de lixiviación (TCLP), efectuados de forma periódica por la empresa, han demostrado que los sedimentos no clasifican como residuos peligrosos, lo que respalda su potencial uso en procesos de valorización y aprovechamiento seguro. Este hallazgo es significativo, ya que abre la posibilidad de utilizarlo en diferentes industrias sin representar un riesgo para la salud humana ni el medio ambiente. Asimismo, la caracterización fisicoquímica, composicional y mecánica del material revela un amplio potencial para su aprovechamiento en múltiples aplicaciones dentro del enfoque de economía circular, en las Tabla 1 y Figura 1 se presentan algunos de los resultados promedio de los análisis de caracterización realizados.

Las posibles aplicaciones del sedimento deshidratado son diversas. La composición elemental del material, destacando principalmente los elementos Al, Si y Fe, junto con su composición mineralógica, que incluye cuarzo, caolinita y albita, así como los resultados obtenidos en el análisis de actividad puzolánica, clasificación y resistencia a la compresión simple, sugieren su idoneidad para diversas aplicaciones en el sector de la construcción[1]. Esto se ve respaldado por su naturaleza predominantemente inorgánica y bajo contenido de materia orgánica, características que favorecen su utilización en procesos industriales sostenibles particularmente en la producción de cemento, donde podría sustituir parcialmente las materias primas tradicionales [2]. Asimismo, podría emplearse como materia prima en la fabricación de productos



en la industria cerámica [3][4]. Sus propiedades físicas también sugieren su potencial en la formulación de materiales geopoliméricos y en su uso para la estabilización de suelos para infraestructura vial, ofreciendo una alternativa a los materiales vírgenes. Además, considerando su alto contenido de aluminio derivado del coagulante utilizado en el proceso, se puede deducir que el material posee potencial para la recuperación de dicho coagulante y su uso como alternativa en el tratamiento de aguas residuales, reemplazando métodos convencionales [5]. Estas aplicaciones evidencian la versatilidad de este material como recurso valioso en diferentes industrias.

Integrar este material deshidratado en modelos de economía circular puede reducir significativamente el impacto ambiental asociado a su disposición. Al transformar este residuo en un recurso aprovechable, se minimizan los desechos y se reducen los costos de disposición, beneficiando tanto al ambiente como a la economía.

Tabla 1. Resultados de la caracterización fisicoquímica los sedimentos deshidratados.

Análisis	Resultado Promedio
Contenido de humedad (%)	67,76
sólidos totales (%)	32,24
Peso específico de sólidos	2,48
Densidad real (g/cm ³)	2,16
pH	6,91
Conductividad (µS/cm)	235,83
Contenido de materia orgánica (%)	24,00
Actividad puzolánica (mg CaO/g ma)	481,41
Área superficial (m ² /g)	54,96
Clasificación AASTHO / USC	A-7-5/MH
Resistencia a la compresión (kPa)	404,9

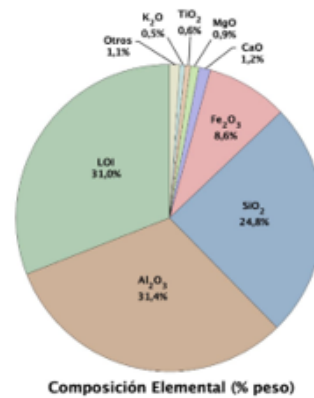


Figura 1. Composición elemental promedio obtenida por Fluorescencia de Rayos X F

Referencias

- [1] Torres Lozada, P., Arango Vallejo, L. A., & Torres López, W. A. (2023). Evaluación del aprovechamiento de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la preparación de adobe como material de construcción sostenible: *Evaluation of the use of drinking water treatment plants sludges in the preparation of adobe as a sustainable construction material*. *Revista EIA*, 20(39), 1–18.
- [2] Graupner de Godoy, L. G., Rohden, A. B., Garcez, M. R., Costa, E. B. da, Da Dalt, S., & Andrade, J. J. de O. (2019). Valorization of water treatment sludge waste by application as supplementary cementitious material. *Construction and Building Materials*, 223, 939–950. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.333>
- [3] Cremades, L. V., Cusidó, J. A., & Arteaga, F. (2018). Recycling of sludge from drinking water treatment as ceramic material for the manufacture of tiles. *Journal of Cleaner Production*, 201, 1071–1080. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.094>
- [4] Pei Ling, Y., Ooi, C. H., Matsumoto, A., & Yeoh, F. Y. (2018). Properties evaluation and fabrication of green clay reformulated from water sludge. *Ceramics International*, 44(2), 1411–1419. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.09.214>



Estudio comparativo en la determinación del área superficial en fase gaseosa y líquida de biocarbones y carbones activados derivados de residuos del sector agrícola

Juan Esteban Ramírez Vanegas^a **Luis Carlos Moreno Aldana**^a, **Luis Ignacio Rodríguez Varela**^b.

^a Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

^b Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

jramirezvan@unal.edu.co

Resumen

El desarrollo de materiales adsorbentes eficientes es crucial para mejorar los procesos de tratamiento de agua, especialmente en la eliminación de residuos y metales pesados. En este contexto, los biocarbones (BC) y carbones activados (CA) derivados de residuos agrícolas representan una alternativa sostenible y efectiva [1]. El objetivo de este estudio fue analizar el área superficial (AS) de BC y CA obtenidos a partir de cuesco de palma (CU) y cascarilla de café (CC). Los BC se prepararon pesando 15 g de residuo y se sometieron a calentamiento a 10 °C/min hasta 800°C, se dejaron por 1 h con un flujo de 20 mL/min de N₂ en un horno horizontal. Los CA se obtuvieron mediante activación del residuo con ZnCl₂ en relación 1:1 y se pirolizaron con el mismo tratamiento térmico que los BC; luego se lavaron con HCl, 2 M y con agua destilada hasta pH neutro; por último, se secaron a 100°C. Las propiedades de adsorción se evaluaron por fisiadsorción de N₂ a 77 K, adsorción de azul de metileno (Sm) e índice de yodo (InI) [2].

En la fisiadsorción de N₂ a 77 K se determinó el área superficial por modelo BET (SBET), cuyos resultados se muestran en la Figura 1. La adsorción de azul de metileno se cuantificó con la Ec. (1) resultando de 3,20 m²/g para el BC-CC; 4,13 m²/g para el BC-CU; 4,00 m²/g para la CA-CC y 9,01 m²/g para CA-CU.

$$S_m = \frac{\frac{gA}{gCA} * 196,2 * N}{373,9} \quad (1)$$

donde, gA es la cantidad de azul de metileno en g, gCA son los gramos de CA utilizado y N es el número de Avogadro. Luego, se calculó el InI medido en gramos [3] con la Ec.2

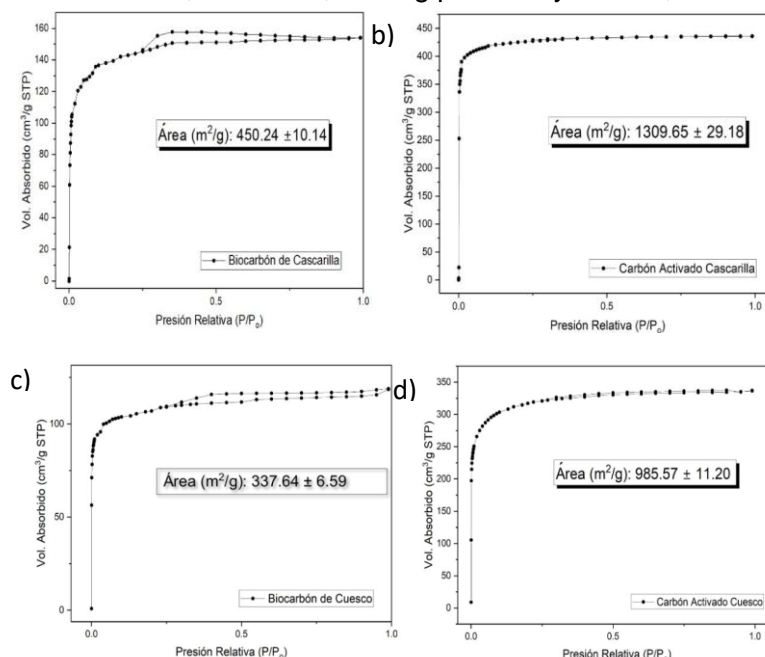
$$nI = 0,77 * S_m + 15 \quad (2)$$

Los resultados mostraron que el BC-CC con 17,50 m²/g, aumentó a 30,66 m²/g para el material activado, mientras que BC-CU con 19,05 m²/g, incrementó a 34,98 m²/g tras la activación. La fisiadsorción de N₂ es más efectiva para medir el área total por S_{BET}, destacando los altos valores en los CA's. La adsorción de azul de metileno identifica mesoporos en BC-CC, mientras que el índice de yodo es más sensible a microporos en CA-CU [4]. Estos métodos, al ser complementarios, proporcionan una evaluación integral de las propiedades adsorbentes de los materiales en fase gaseosa y líquida.



Figura 1. Isotermas de fisiadsorción de N₂ a 77K a) BC-CC b) CA-CC c) BC-CU d) CA-CU.

El área BET aumentó de 450,24 a 1309,65 m²/g para CC y de 337,64 a 985,57 m²/g para CU. En



general, isotermas presentan un comportamiento tipo I, característico de microporosidad, el biocarbón de cuesco (BC- CU) exhibe una isoterma tipo IV, indicativa de una mayor proporción de mesoporos y una estructura más heterogénea. Esta observación se refleja en el mayor tamaño de poro promedio de BC-CU (4,41 nm), en contraste con los carbones activados que presentan tamaños de poro menores (2,28 y 2,93 nm para cascarilla y cuesco, respectivamente). En conclusión, el tipo de biomasa y el tratamiento químico determinan la estructura porosa final y con ello las aplicaciones en adsorción de contaminantes de acuerdo con procesos que requieren una mayor accesibilidad superficial.

Referencias

- [1] Wang, Y., Chen, L., Zhu, Y., Fang, W., Tan, Y., He, Z., & Liao, H. (2024). Research status, trends, and mechanisms of biochar adsorption for wastewater treatment: a scientometric review. *Environmental Sciences Europe*, 36(1)
- [2] Giraldo, L., García, V., & Moreno, J. C. (s. f.). Caracterización superficial en fase gas y líquida de carbones activados.
- [3] ASTM International. (2014). Standard test methods for use of the iodine number of activated carbon (D4607-14). West Conshohocken, PA: ASTM International
- [4] Ahmed, A. S., Alsultan, M., Hameed, R. T., Assim, Y. F., & Swiegers, G. F. (2022). High surface area activated charcoal for water purification. *Journal of Composites Science*, 6(10), 311.



Tratamientos con HNO₃ y oxígeno diluido para la funcionalización de residuos de coque como soporte catalítico: estudio comparativo y combinado

Julieta A. Rubio¹, Andrés M. Hernández¹, Eduard R. Romero¹, Yazmín Agámez¹

^aLaboratorio de Investigación en Energía y Combustible (LICE), Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

Email: ^ajuarubioru@unal.edu.co

Resumen

Este trabajo explora el uso potencial de residuos de coque (RC), generados en plantas de tratamiento de agua potable del acueducto municipal de Guaduas (Cundinamarca, Colombia), como soporte catalítico en reacciones termoquímicas [1]. El material fue triturado en un molino de martillos y posteriormente en un molino de bolas durante 8 horas. Luego fue tamizado para obtener una fracción entre 0,15 y 0,074 mm, y finalmente almacenado en condiciones herméticas. Las propiedades estructurales se determinaron mediante difracción de rayos X (DRX, equipo PANalytical X'PertPRO MPD, Cu K α , $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$). Las propiedades térmicas se evaluaron mediante análisis termogravimétrico (TGA, equipo Mettler Toledo TGA/DSC 1 STARe), con una velocidad de calentamiento de 5 °C/min hasta 900 °C en atmósfera de argón [2]. Las propiedades texturales se analizaron por adsorción de N₂ a -196 °C (equipo Micromeritics ASAP 2020), previa desgasificación a 250 °C durante 24 h, aplicando el modelo BET [2]. La humedad y el contenido de cenizas se determinaron según las normas ASTM D3173 y D5142, respectivamente. La acidez superficial se estimó mediante medición de pH (norma ASTM D1512) con un equipo Hanna Instruments.

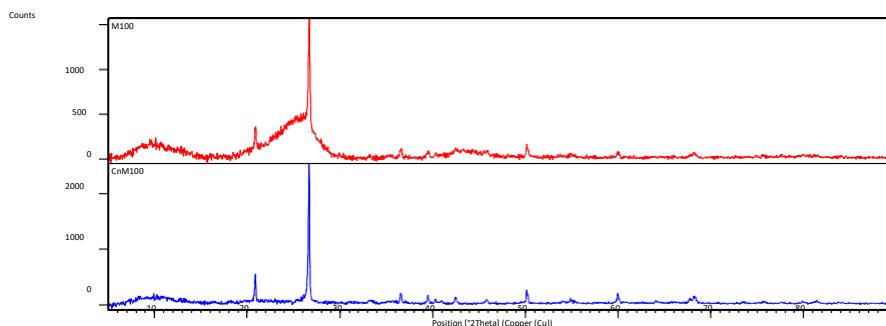


Figura 1. Perfil de difracción de rayos de Carbón Coque malla 100 (M100) y las cenizas de malla 100 (CnM100)

El patrón de difracción de rayos X se presenta en la Figura 3 para el carbón coque malla 100–200 (CK100–200) y las cenizas malla 100–200 (CnK100–200). Se observa una señal aguda e intensa en 26,6° 2θ, correspondiente al plano (002) de los microcristales grafiticos del coque. Además, se identifica una señal en 43° 2θ, característica de materiales carbonosos con alto grado de ordenamiento estructural, atribuible al tratamiento térmico aplicado durante su fabricación. En ambos materiales (CK100–200 y CnK100–200) también se registran señales en 20°, 26°, 36° y 50° 2θ, asociadas con la presencia de materiales inorgánicos, especialmente



sílice y cuarzo [3][4].

El análisis térmico identificó tres eventos principales (Figura 2): pérdida de humedad o agua fisisorbida del material (40–200 °C), liberación de compuestos orgánicos retenidos (200– 450 °C) y procesos de descomposición térmica de la materia orgánica y la transformación de piritas de hierro en óxidos férricos (>450 °C), por lo que se estableció 450 °C como temperatura óptima de tratamiento térmico en atmósfera oxidante, para preservar la integridad del material. El tratamiento con HNO₃ aumenta la acidez superficial del coque (pH 3,8), pero no mejora significativamente el área superficial (SBET ≈ 17 m²/g). El tratamiento con oxígeno diluido incrementa el área superficial a 100,7 m²/g y reduce el pH a 3,7, lo que indica una oxidación superficial. La combinación de ambos tratamientos (M100H12O) resulta más efectiva, al aumentar el área superficial a 195,1 m²/g y reducir el pH a 3,4, lo cual sugiere una mayor densidad de sitios ácidos asociados a la superficie del material [5].

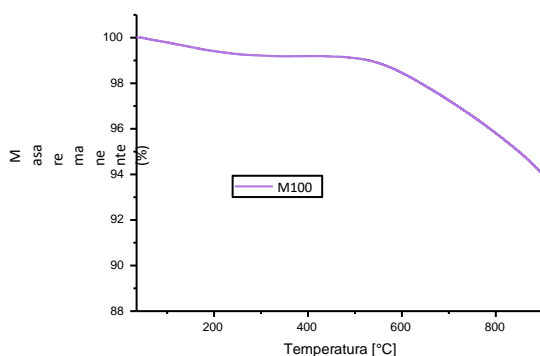


Figura 2. Termograma obtenido para la muestra de residuos de coque de malla 100-200 (M100).

La acidez superficial, evaluada mediante la variación del pH en suspensiones con distintas fracciones de coque, mostró una disminución más pronunciada en los materiales tratados con HNO₃ y con el tratamiento combinado, lo que confirma la incorporación de grupos funcionales oxigenados (–COOH, –OH). El tratamiento combinado resultó ser el más eficaz en este aspecto. En cuanto al tratamiento con HNO₃ a diferentes concentraciones (0 a 12 M), se observó una mejora limitada en el área superficial (hasta 17 m²/g) con el incremento en la concentración del ácido. El tratamiento con oxígeno diluido permitió mejorar el área superficial, debido a que el tamaño de esta molécula favorece su difusión a través de la partícula carbonosa. Sin embargo, la combinación de ambos tratamientos generó un incremento significativo en el área superficial, alcanzando un valor máximo de SBET de 195 m²/g en el catalizador M100H12O.

Los espectros FTIR de la Figura 3 se evidencian diferencias en la transmitancia en las muestras asociadas a modificaciones químicas inducidas por los tratamientos aplicados. En la región entre 1500 y 400 cm⁻¹, se observa un aumento en la intensidad de absorción para las muestras M100H12, M100H12O y M100O en comparación con M100, lo que indica la incorporación de grupos funcionales oxigenados como –OH, C=O o C–O, típicos de procesos de oxidación o funcionalización. Estas diferencias sugieren que los tratamientos aplicados a M100 incrementan la presencia de grupos polares en la superficie, lo cual está relacionado



con procesos de oxidación, y es especialmente notorio en M100H12O, que presenta una mayor disminución de la transmitancia en las regiones clave.

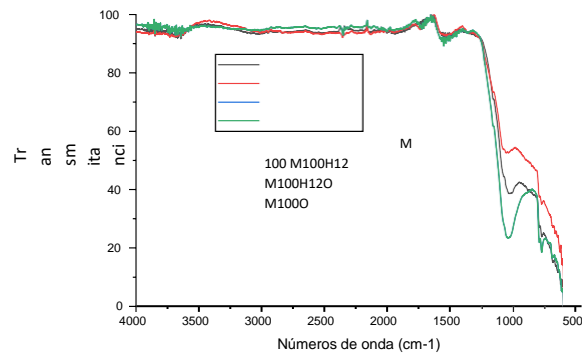


Figura 3. Espectros FTIR de las muestras M100, M100H12, M100H12O y M100O

Conclusiones

Mediante el análisis termogravimétrico se determinó que 450 °C es la temperatura óptima para realizar el tratamiento con oxígeno diluido, ya que permite mantener la estabilidad térmica del material. El tratamiento combinado con HNO₃ y O₂ favorece el desarrollo de una mayor área superficial (hasta 195,1 m²/g) y la presencia de grupos oxigenados en el material carbonoso, mejorando así sus propiedades como soporte catalítico. Las modificaciones inducidas generaron una mayor cantidad de grupos funcionales oxigenados (–OH, C=O, C–O), como se confirmó mediante espectros FTIR, contribuyendo a una superficie más polar.

Referencias

- [1] Ministerio de Desarrollo Económico, “RAS 2000, Título A - Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico. Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia,” Reglam. Técnico Del Sect. Agua Potable Y Saneam. Basico, p. 114, 2000.
- [2] M. a r i s o l F. a r a l d o s y C. o n s u e l o G. o b e r n A, “Técnicas de análisis y caracterización de materiales (PDFDrive).pdf.” Consejo Superior de Investigaciones Científicas, p. 1052, 2021.
- [3] D. Rico, Y. Agámez, E. Romero, M. Á. Centeno, J. A. Odriozola, and J. de J. Díaz, “Colombian metallurgical coke as catalysts support of the direct coal liquefaction,” Fuel, vol. 255, no. June, p. 115748, 2019
- [4] S. Ergun, “X-ray studies of coals and carbonaceous materials,” States Dep. Inter. Bur. Mines, pp. 6–35, 1968
- [5] L. R. Radovic, “Physicochemical Properties of Carbon Materials: A Brief Overview,” in Carbon Materials for Catalysis, 2009, pp. 1–44



Valorización de baterías alcalinas para la obtención de óxidos de manganeso

Alba N. Ardila A. ^{a*}, Melissa Arango Álvarez ^b, Erasmo Arriola V. ^c, Santiago Bedoya Betancur ^d, Pedro Luis Delvasto Angarita ^e.

^{a,b,c,d} *Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia.*

^e *Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.*

*Email: anardila@elpoli.edu.co

Resumen

El creciente consumo de dispositivos electrónicos ha incrementado la generación de residuos de baterías alcalinas, que contienen compuestos valiosos como manganeso y zinc. La disposición inadecuada de estos residuos genera riesgos ambientales significativos por la liberación de metales pesados. Ante este problema, la valorización mediante procesos hidrometalúrgicos se plantea como una alternativa sostenible, permitiendo recuperar el manganeso y transformarlo en productos de valor agregado, disminuyendo el impacto ambiental y fomentando la economía circular. El estudio incluyó la recolección de baterías, clasificación según su composición (zinc-manganeso) y extracción del material catódico. Este material se trituró obteniendo diferentes rangos granulométricos y seleccionando el pasante malla 80 (~180 μm) para favorecer la disolución. La lixiviación se realizó con una solución de ácido cítrico (0.1 M) y ácido clorhídrico (5 mL) y peróxido de hidrógeno (4 mL), potenciando la solubilización del Mn mediante complejación, acidificación y reducción simultánea. Las condiciones experimentales incluyeron 2 g de cátodo en 100 mL de solución lixivante, agitación a 800 rpm durante 3 h a temperatura ambiente. Las soluciones resultantes y los residuos sólidos se analizaron por AAS. Posteriormente, se sintetizaron MnO_2 usando permanganato de potasio como agente oxidante, evaluando diferentes relaciones molares (1:0.5, 1:1, 1:2), medios (ácido, neutro, básico), tiempos (6 y 16 h) y temperaturas (85 °C y 140 °C). Las muestras obtenidas fueron secadas a 80 °C y caracterizadas.

El análisis químico del cátodo mostró un contenido de Mn del 45.3 % en peso, constituyéndose como el componente mayoritario frente a Zn (7.8 %), K (4.1 %) y Fe (0.6 %). Las lixivitaciones alcanzaron eficiencias superiores al 96 %, con concentraciones de hasta 8125 mg/L de Mn en las soluciones, lo que demuestra la efectividad de la combinación de ácido cítrico, HCl y H_2O_2 . En la etapa de síntesis, la mayor cantidad de óxido de manganeso (0.4382 g) se obtuvo en la relación molar 1:2 (licor lixiviado: KMnO_4) a 85 °C durante 6 h. Se observó que el medio básico favoreció la precipitación de MnO_2 , mientras que en condiciones ácidas la reducción completa a Mn^{2+} impidió la formación de sólido. El incremento de temperatura hasta 140 °C no mejoró de manera significativa el rendimiento, aunque sí favoreció la morfología y apariencia de las muestras. Los resultados de las técnicas instrumentales confirmaron que las condiciones de síntesis influyen directamente en la estructura y morfología de los MnO_2 . Los análisis UV-Vis y FTIR mostraron variaciones en la cristalinidad, el grado de hidratación y la presencia de defectos estructurales, mientras que los difractogramas de rayos X evidenciaron que tanto la temperatura como la relación de reactivos determinan las fases cristalinas formadas. Este trabajo demuestra



la viabilidad técnica de recuperar manganeso desde baterías alcalinas mediante lixiviación con ácido cítrico y aditivos, alcanzando eficiencias mayores al 96 %. La posterior síntesis hidrotérmica permitió transformar el manganeso recuperado en óxidos funcionales, potencialmente aplicables en catálisis y almacenamiento de energía. Asimismo, se confirmó que variables como la relación de reactivos, la temperatura y el pH influyen directamente en el rendimiento y la morfología del producto final. El estudio contribuye a disminuir la dependencia de materias primas vírgenes y a mitigar el impacto ambiental derivado de los residuos electrónicos, promoviendo un modelo de economía circular. Además, valida que materiales obtenidos de fuentes recicladas pueden presentar propiedades comparables o incluso superiores a los sintetizados por métodos convencionales.

En comparación con la literatura, las eficiencias de lixiviación obtenidas son similares o superiores a las reportadas en procesos con ácidos minerales, los cuales alcanzan valores entre 85 % y 95 %. Estudios previos han señalado que el uso de ácidos orgánicos como el cítrico reduce la generación de residuos secundarios y mejora la selectividad hacia Mn, lo cual concuerda con los resultados aquí presentados. De igual forma, las condiciones hidrotérmicas empleadas favorecieron la obtención de fases cristalinas de MnO_2 con morfologías comparables a las descritas en síntesis directas a partir de sales comerciales, demostrando que la valorización de baterías alcalinas es una alternativa técnicamente competitiva.

Palabras clave: baterías alcalinas desgastadas, síntesis hidrotérmica, óxidos de manganeso.

Referencias

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 & Biotechnology*, 99(7), 1553–1563. <https://doi.org/10.1002/jctb.7649>

Lannoo, S., Vilas-Boas, A., Sadeghi, S. M., Jesus, J., & Soares, H. M. V. M. (2019). An environmentally friendly closed loop process to recycle raw materials from spent alkaline batteries. *Journal of Cleaner Production*, 236, Article 117612. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117612>

Lu, M., Ma, Y., Li, D., Jiang, M., & Yu, C. (2023). Hydrothermal synthesis of MnO_2 microspheres and their degradation of toluene. *ACS Omega*, 8(51), 49150–49157. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c07306>

Qiu, G., Huang, H., Dharmarathna, S., Benbow, E., Stafford, L., & Suib, S. L. (2011). Hydrothermal synthesis of manganese oxide nanomaterials and their catalytic and electrochemical properties. *Chemistry of Materials*, 23(17), 3892–3901. <https://doi.org/10.1021/cm2011692>



Aprovechamiento de un residuo de café para la elaboración de un biomaterial

Andrea Carolina Pizarro Romero^a, Luis Enrique Ramírez^b, Frances Nicoletta Almontes Torres^b, Ximena Gavia Gómez^a, Maria Isabel Mejia Correa^{a,*}.

^a Universidad de Medellín, Medellín

^b Instituto Tecnológico Superior de Apatzingán, Apatzingán Michoacán

Email: * mimejia@udemedellin.edu.co

Resumen

El café es la segunda bebida más consumida globalmente, solo superada por el agua y por delante del té, la cerveza y las bebidas carbonatadas. Según la Organización Internacional del Café (Organización Internacional del Café, 2022), el consumo mundial total de café en 2021/22 fue de aproximadamente 170,3 millones de sacos [1]. Durante el proceso de preparación del café se genera un subproducto insoluble de residuo que retiene la mayor parte de los componentes originales del grano de café, incluyendo una compleja matriz de carbohidratos (predominantemente fibras), proteínas, lípidos (aceites), minerales y polifenoles [2]. Dada su composición, el residuo de café es una biomasa con un considerable potencial de valorización.

Con el objetivo de contribuir a la reducción del impacto ambiental causado por los residuos sólidos, promover el reciclaje y revalorización de materiales desechados, así como fomentar el desarrollo de soluciones sostenibles dentro del marco de la economía circular, en este trabajo se presenta el desarrollo de biomateriales sostenibles y biodegradables a partir de la extracción de celulosa proveniente de residuos orgánicos e industriales, específicamente de industrias cafeteras. A través de procesos químicos y físicos, se busca recuperar la celulosa contenida en estos desechos para utilizarlos como materia prima en la elaboración de nuevos materiales ecológicos que pueda servir como alternativa principalmente a los plásticos de un solo uso. Para lograr la obtención de los biomateriales se evaluaron diferentes condiciones experimentales relacionadas con la temperatura, el pH, la concentración de los reactivos, con el fin de lograr la extracción de la celulosa y la formulación de una mezcla que permita obtener un biomaterial con propiedades físicas y mecánicas adecuadas. Los procesos se realizaron en agitación constante. Los biomateriales se fueron caracterizados por inspección visual y por diferentes técnicas de caracterización mecánica y composicional.

Los resultados preliminares indican que la concentración de reactivos varía las propiedades físicas del material obtenido. Los mayores efectos en el material están dados por la concentración de reactivos, la temperatura empleada y el tiempo de calentamiento. Estos resultados están acordes con lo reportado en la literatura, donde las variables del proceso cambian dependiendo de la aplicación del residuo de café, y si está combinado con otros materiales [5]. Dentro de las muestras obtenidas varían las propiedades encontrándose que, a altas temperaturas, no se logra formar una película y se obtiene una muestra líquida (Figura 1a), en cambio, a menor temperatura se logra la formación de películas de biomaterial maleable y con textura blanda (Figura 1b). También se encontró que, a una mayor concentración de NaOH, el secado de la mezcla pasa de líquido a una consistencia pastosa (Figura 1c) y en otros casos forma la película sólida (Figura 1d). Mientras que, a menor concentración de NaOH, es casi nula la formación de películas.



Finalmente, analizando el efecto de la concentración del café, se observa que en comparación con las muestras con menor concentración (Figura 1e), una mayor concentración de residuo de café permite obtener una película con un mejor secado, y genera una película más rugosa al tacto (Figura 1f), presentando propiedades de ductilidad que se pueden seguir mejorando. Los distintos resultados contienen propiedades físicas - mecánicas tales como color, textura, grosor, rugosidad y ductilidad en las cuales nos basamos para seguir una mejor guía de procedimiento. Los resultados presentan una aplicación potencial de los residuos de café para la elaboración de biomateriales que pueden ser aplicados al desarrollo de nuevos materiales y muestran una fuerte dependencia de las condiciones de procesamiento (temperatura, concentración de NaOH y cantidad de residuo de café) sobre la formación y características finales del biomaterial. Este comportamiento coincide con lo reportado por Lee et al. (2025), quienes destacan que la variación en la alcalinidad y en la temperatura modifica la organización de las fibras de celulosa y afecta la continuidad de las películas formadas a partir de residuos vegetales. Asimismo, Hamid et al. (2024) encontraron que un incremento en la concentración de agentes alcalinos puede mejorar la disolución parcial de la lignina, favoreciendo la formación de películas más densas, aunque en exceso puede producir materiales quebradizos.

En este trabajo, las muestras con alta concentración de NaOH mostraron una transición de una consistencia pastosa hacia películas sólidas, lo cual refleja un equilibrio similar al reportado en la literatura: suficiente remoción de componentes no celulósicos para permitir la cohesión de la matriz, pero con el riesgo de pérdida de integridad si la concentración es demasiado elevada (McNutt & He, 2019). De igual manera, la imposibilidad de formar películas a temperaturas elevadas (>90 °C) coincide con lo observado por Roshia & Ibrahim (2022), quienes reportaron que el sobrecalentamiento puede inducir degradación térmica de polisacáridos, reduciendo la capacidad de formar matrices continuas.

En contraste, a temperaturas moderadas (70 °C) se obtuvieron películas más maleables y de textura blanda, lo que concuerda con los hallazgos de Tamilselvan et al. (2024), donde se subraya la importancia de condiciones de procesamiento controladas para aprovechar las propiedades estructurales de la celulosa en residuos de café y garantizar materiales con ductilidad adecuada. Finalmente, el incremento en la proporción de residuo de café produjo películas con mayor rugosidad y mejores características de secado; este resultado guarda coherencia con lo señalado por Hamid et al. (2024), quienes resaltan que la adición de biomasa rica en fibras aumenta la resistencia mecánica pero también modifica la textura superficial del biomaterial.

En conjunto, estos resultados experimentales y su contraste con la literatura respaldan la idea de que los residuos de café constituyen una materia prima prometedora para la elaboración de biomateriales sostenibles, siempre que se optimicen los parámetros de procesamiento para equilibrar ductilidad, textura y resistencia



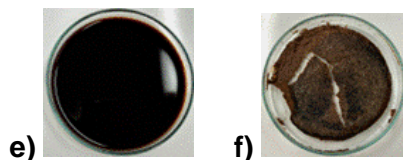


Figura 1. Comparación del biomaterial obtenido con residuo de café con tiempos de calentamiento tiempo prolongado **a)** 1.1 (90°C) y **b)** 3.1 (70°C); con diferente concentración del reactivo NaOH **c)** 1.2 (3g NaOH) y **d)** 3.6 (24g NaOH); con diferente concentración del residuo de café **e)** 1.3 (10g residuo de café) y **f)** 3.3 (20g residuo de café).

Palabras claves: Biomateriales, celulosa, residuo de café, sostenibilidad.

Conclusiones

Los resultados de este estudio demuestran que la temperatura, la concentración de NaOH y la cantidad de residuo de café influyen directamente en la formación y en las propiedades físicas de los biomateriales. A condiciones moderadas (70 °C y concentraciones intermedias de NaOH) se obtuvieron películas maleables y cohesionadas, mientras que en condiciones extremas se dificultó la formación de estructuras continuas, lo cual concuerda con lo reportado en la literatura (Lee et al., 2025; Hamid et al., 2024). El aumento en la proporción de residuo de café favoreció el secado y mejoró la ductilidad de las películas, aportando características útiles para su aplicación. Estos biomateriales presentan un potencial importante como alternativa a los plásticos de un solo uso, principalmente en el desarrollo de empaques biodegradables y sostenibles, lo que contribuye a la reducción de residuos plásticos y a la valorización de subproductos del café dentro de la economía circular (Tamilselvan et al., 2024). Como trabajo futuro, se propone optimizar la mezcla con otras fuentes de celulosa, como la pulpa de papel, para mejorar las propiedades mecánicas y ampliar sus aplicaciones en empaques.

Referencias

- [1]J.W. Lee, S.Y. Lee, M.Y. Lee, G.P. Hong. *LWT - Food Science and Technology* 218 (2025) 117476. J. McNutt, Q.S. He. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 71 (2019) 78–88.
- [2]Hamid F.A., S.K. Loh, N.A. Wahab, V. Subramaniam, A.A. Aziz, Z. Idris. *Industrial Crops and Products* 222, 5 (2024) 119938.
- [3]P. Rosha, H. Ibrahim. *Energy* 258, 1 (2022) 124883.
- [4]Tamilselvan, K., Sundarajan, S., Ramakrishna, S., Amirul, A.-A. A., & Vigneswari, S. (2024). Sustainable valorisation of coffee husk into value added product in the context of circular bioeconomy: Exploring potential biomass-based value webs. *Food and Bioproducts Processing*, 145, 187–202. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.03.008>



Cenizas de Residuos Sólidos Urbanos como material de construcción: implementación en sitio para pavimento rígido y prefabricados de concreto en San Andrés Islas

Julián D. Carmona-Ramírez^{a,*}, Francisco D. Cabrera-Poloche^a, Carlos A. Bedoya-Henao^a, Isabella Taborda-Llano^a, Gustavo A. Viana-Casas^{a,b}, Óscar J. Restrepo-Baena^{a,b}, Jorge I. Tobón^a

^a Universidad Nacional de Colombia, Grupo de investigación del Cemento y Materiales de Construcción, Medellín

^b Universidad Nacional de Colombia, Observatorio ÍGNEA, Medellín

*Email: jcarmonar@unal.edu.co

Resumen

En la isla colombiana San Andrés, la gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), se basa en su acopio en el relleno sanitario Magic Garden. Como una estrategia para disminuir la tasa de ocupación por volumen del relleno y apoyar la matriz energética de la isla, se implementó un proceso de incineración de RSU, permitiendo reducir en un 90% el volumen de los residuos entrantes al acopio. Sin embargo, aún con esta medida, se proyecta que el relleno alcance su capacidad máxima para el 2027. Bajo dicho contexto, se presenta en este trabajo el estudio e implementación en campo de los remanentes del proceso de incineración (cenizas) de RSU en San Andrés como materiales de construcción, como una estrategia para alargar la vida útil de Magic Garden mediante la reducción de la tasa de acopio y para atender, parcialmente, a la demanda de este tipo de materiales en la isla.

Las cenizas de RSU fueron incorporadas en 85.5 m² de pavimento rígido como subbase granular en hasta un 100% y agregado para concreto MR en hasta un 80 %, y en 1200 elementos prefabricados de concreto y mortero como agregado granular en hasta un 100%. Para esto, fueron retiradas aproximadamente 100 toneladas de cenizas de RSU del sitio de acopio en Magic Garden y llevados a una planta de producción de prefabricados en la Isla. El material fue sometido a un proceso de trituración primaria y separación por tamaños para la construcción de granulometrías objetivo, aplicando la norma ASTM C33 [1] para el uso como agregado en mezclas de concreto/mortero y las Especificaciones generales INVÍAS [2] para el uso como subbase granular. Adicionalmente, para el agregado fino fue descartada la fracción pasante malla No.16 (1.19 mm) debido a su efecto perjudicial para los usos propuestos [3].

Con la granulometría lista, para el pavimento rígido fue preparado concreto MR 35 destinado a uso como carpeta de rodadura, y subbase granular de tipo SBG 38 – Clase C según INVÍAS [2]. Por su parte, en cuanto a prefabricados, fueron preparadas mezclas de mortero y concreto para producción de adoquines, cuya capacidad mecánica fue evaluada según las Normas Técnicas Colombianas – NTC [4]. La aptitud técnica del concreto MR 35 fue evaluada mediante el registro de su módulo de rotura a 28 días; de la subbase granular SBG 38 Clase C mediante ensayos de



Próctor modificado, CBR y Cono de arena en condiciones de puesta en servicio; y de los prefabricados mediante ensayos de resistencia a compresión y flexión normalizados a 28 días. Además de lo anterior, para el control en el tiempo del pavimento bajo condiciones de servicio, de la carpeta de rodadura fueron extraídos núcleos para ensayos de resistencia a compresión a 28 y 56 de vaciado, y fueron tomados registros del *Pavement Condition Index* (PCI) desde el momento de puesta en servicio del pavimento hasta luego de 100 días para la evaluación integral de sus condiciones de servicio. Por otro lado, para el control en el tiempo de los prefabricados fue realizado seguimiento de la resistencia a flexión y compresión a edades de hasta 300 días.

Los resultados obtenidos para el concreto MR 35 con agregado conformado con hasta 80% de cenizas de RSU fueron satisfactorios, ofreciendo un módulo de rotura a 28 días mayor al especificado de 35 kgf/cm²; para la subbase conformada con hasta 100% cenizas de RSU, el CBR fue superior al 30% exigido por la norma bajo la condición de humedad óptima, establecida mediante el ensayo de Próctor modificado, garantizando en campo una compactación superior al 95% mediante el ensayo del cono de arena; y para los prefabricados con hasta 100% cenizas de RSU como agregado, se registraron resistencias a compresión y flexión – módulo de rotura a 28 días superiores a las requeridas por la norma (13 MPa y 4.2 MPa, respectivamente). El concreto de la carpeta de rodadura no sufrió pérdida de resistencia en el tiempo durante el intervalo estudiado mediante la extracción de núcleos y el pavimento no sufrió pérdida de condiciones de servicio durante el intervalo de estudio de 100 días. Por su parte, los prefabricados tampoco sufrieron caída de resistencia hasta 300 días. En función de lo anterior se demostró que estos materiales alternativos, cuando son implementados adecuadamente, pueden ofrecer desempeño y durabilidad comparables a materiales de construcción convencionales desde las exigencias normativas en Colombia para dichos usos, a la vez que aportan con la circularidad bajo el contexto particular de San Andrés al permitir la utilización de aproximadamente 240 toneladas de cenizas de RSU que son generadas cada año en Magic Garden como materiales de construcción, y que de otra manera serían acopiadas en el relleno.

Referencias

- [1] ASTM, “ASTM C 33M-18 Standard Specification for Concrete Aggregates,” 2018.
- [2] INVÍAS and MinTransporte, “Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022,” 2022.
- [3] J. D. Carmona-Ramírez *et al.*, “Exploring sustainable construction: A case study on the potential of municipal solid waste incineration ashes as building materials in San Andres island,” *Case Studies in Construction Materials*, vol. 22, Jul. 2025, doi: 10.1016/j.cscm.2025.e04351.
- [4] ICONTEC, “NTC 2017 Adoquines de concreto para pavimentos.,” 2018. Accessed: Sep. 23, 2024. [Online]. Available: <https://tienda.icontec.org/gp-adoquines-de-concreto-para-pavimentos-ntc2017-2018.html>



Valorización de residuos de glicerol mediante carbonilación con urea empleando ZnO derivados de baterías recicladas

Misael Cordoba Arroyo^{a*}, Madelain Linero Diaz^a, Erasmo Arriola-Villaseñor ^a,
Pedro Delvasto^b, Alba N. Ardila A^a

^a Grupo de Investigación en Catálisis Ambiental y Energías Renovables, Politécnico Colombiano Jaime Izasa Cadavid, Medellín

^b Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga
Email: *misaelcordoba@elpoli.edu.co

Palabras Clave: Valorización, Residuos, Baterías Recicladas, Glicerol, ZnO

Resumen

La producción de biodiesel por transesterificación catalítica genera como subproducto, glicerol (~10 % p/p) y su manejo representa un reto ambiental. La conversión de glicerol en carbonato de glicerol (CG) es una alternativa de alto valor, con aplicaciones en polímeros, lubricantes y solventes verdes. Entre las rutas viables se encuentra la glicerólisis con urea destaca por su viabilidad económica y sostenibilidad (Gade, Saptal, & Bhanage, 2022). Los materiales de ZnO se han caracterizado por ser altamente activos en esta reacción. Estos materiales pueden obtenerse del reciclaje de baterías alcalinas, promoviendo la economía circular (Alcaraz, L., et al, 2019). En este estudio, se sintetizó y utilizó ZnO recuperado de baterías alcalinas como catalizador para la valorización de glicerol en la producción de Carbonato de Glicerol.

Sección Experimental

En la síntesis de ZnO se emplearon precursores obtenidos a partir de pilas alcalinas como el citrato de zinc y acetato de zinc. Además, se obtuvieron materiales catalíticos de ZnO, los cuales no fueron sometidos a un proceso de lixiviación química, evaluando un nuevo método que facilitó la simplificación de la metodología y disminuyó la utilización de reactivos químicos para la obtención de la fase activa. Los materiales obtenidos fueron calcinados a tres temperaturas: 400, 500 y 600°C. Nombrándose: ZnO-CI, ZnO-AC, ZnO-Cat, respectivamente con su correspondiente temperatura de calcinación. Los catalizadores obtenidos fueron caracterizados mediante diferentes técnicas como: DRX, FTIR-ATR, UV-Vis-DRS, entre otras. La reacción de carbonilación de glicerol con urea se llevará a cabo en un reactor discontinuo, con flujo de N₂, para lo cual se empleó una relación molar Glicerol:urea 1:1, (libre de solvente), relación sustrato/catalizador: 40,5 a 140°C y 750 rpm durante 6h. Los reactivos y productos fueron analizados por CG-FID.

Discusión y Resultados

En la figura 1a se observa el espectro DRX de los materiales obtenidos y el ZnO comercial donde se evidencian picos característicos del ZnO con estructura wurtzita, de acuerdo a los planos cristalográficos a diferentes ángulos 2θ. La intensidad de estos picos sugiere un alto grado de cristalinidad y pureza en las muestras obtenidas a partir de las baterías alcalinas, confirmando que las muestras sintetizadas y el ZnO comercial presentan la misma estructura cristalina.



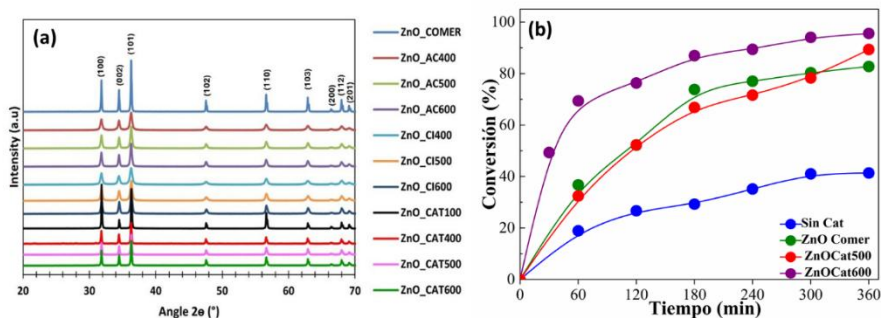


Figura 1. a) Espectro DRX ZnO comercial y sintetizados, b) Conversión de glicerol vs tiempo ZnO Comercial, ZnO_Cat500 y ZnO_Cat600.

En la figura 1b se evidencia la conversión del glicerol para la obtención de carbonato de glicerol evidenciándose alrededor de 40% de conversión sin presencia de catalizador, por otro lado al evaluar los catalizadores ZnO_comer, ZnO_Cat500 y ZnO_Cat600 se observa que los catalizadores obtenidos a partir de las baterías son activos en la carbonilación de glicerol con urea, incluso se evidencia mayor actividad que el catalizador comercial, esto podría atribuirse al efecto promotor por presencia de trazas de metales como K, Na entre otros, evidenciados mediante absorción atómica. Lo que podría explicar la mejor performance catalítica de los materiales obtenidos a partir de las baterías alcalinas. Es importante resaltar que el catalizador ZnO_Cat 500 mostro la mejor actividad con una conversión del 95% de glicerol. Los resultados de Uv-Vis con reflectancia difusa, mostraron que los ZnO calcinados a 500°C, pueden alcanzar un equilibrio óptimo entre la formación de ZnO cristalino, la presencia de defectos y morfología, debido a que se observó mayores intensidades en la absorbancia en la banda principal de UV-Vis-DRS en comparación con las temperaturas de calcinación 400 y 600°C. La actividad también podría atribuirse a una mayor interacción bifuncional acido-base de Lewis del ZnO obtenido. En este caso El O^{2-} superficial del ZnO desprotona grupos hidroxilo del glicerol y activa la urea facilitando la ruptura del enlace N–H. mientras que el Zn^{2+} se coordina con el oxígeno carbonílico de la urea, aumentando su electrofilia y favoreciendo la formación de especies intermedias que favorecen la reacción y la obtención de carbonato de glicerol.

Conclusiones

El posible la valorización catalítica de glicerol para la síntesis de carbonato de glicerol mediante procesos de química verde, empleando materiales catalíticos de ZnO derivados de baterías recicladas. Este enfoque no solo contribuirá a la reducción del impacto ambiental del glicerol residual, sino también de los residuos de baterías dándole un segundo uso, impulsando el desarrollo de tecnologías más sostenibles y economía circular.

Referencias

- Gade, S. M., Saptal, V. B., & Bhanage, B. M. (2022). Perception of glycerol carbonate as green chemical: Synthesis and applications. *Catalysis Communications*, 172, 106542. doi:<https://doi.org/10.1016/j.catcom.2022.106542>
- Alcaraz, L., et al. (2019). New photocatalytic materials obtained from the recycling of alkaline and Zn/C spent batteries. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(3), 2809–2818. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.04.020>



Obtención de biopolímeros a partir de cáscara de huevo y almidón de yuca

Julián Carmona Madrigal^{a*}, Lina Corrales González^a, Juan Diego Marín Madrigal^b, Martín Hurtado Campos^b, María Isabel Mejía Correa^a, Ximena Gaviria Gómez^a

^a Universidad de Medellín, Medellín.

^b Instituto Tecnológico Superior de Apatzingán, Apatzingán.

Email: ^a 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.

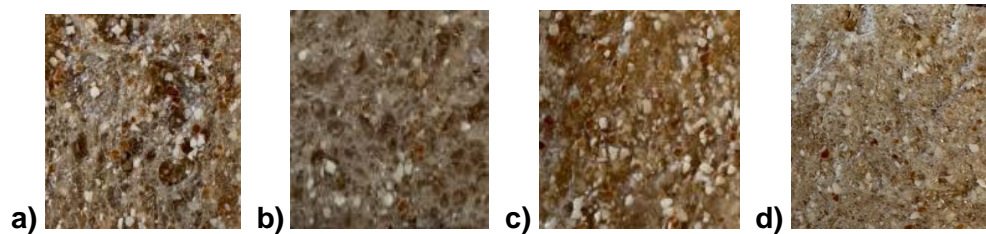


Figura 1. Biopolímeros obtenidos a partir de polvo de cáscara de huevo y almidón de yuca **a)** m-1, **b)** m-2, **c)** m-3 y **d)** m-4

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 lodos arcillosos de cantera para la producción de materiales geopoliméricos: una estrategia de economía circular en la construcción

Llano, Eliana¹; Rosas, Ricardo^{2*}, Patiño, Kelly³, Restrepo, Gloria⁴

¹Grupo Procesos Físicoquímicos Aplicados, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, calle 67 No. 53 – 108 Medellín, Colombia, eliana.llano@udea.edu.co.

²Grupo Procesos Físicoquímicos Aplicados, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, calle 67 No. 53 – 108 Medellín, Colombia, ricardo.rosas@udea.edu.co.

³Grupo Procesos Físicoquímicos Aplicados, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, calle 67 No. 53 – 108 Medellín, Colombia, kelly.patino@udea.edu.co

⁴Grupo Procesos Físicoquímicos Aplicados, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, calle 67 No. 53 – 108 Medellín, Colombia, gloria.restrepo1@udea.edu.co.

Email: ricardo.rosas@udea.edu.co

Resumen

La gestión de los residuos industriales, como los lodos arcillosos generados en la extracción de materiales pétreos, representa un desafío ambiental y económico para la sociedad. Estos residuos impactan tanto al medio ambiente como a la competitividad industrial, ya que su disposición implica costos adicionales para el proceso de extracción. El objetivo principal de este trabajo fue evaluar el aprovechamiento de estos residuos en el desarrollo de materiales geopoliméricos para la fabricación de mampuestos no estructurales.

Se realizó la caracterización de los lodos mediante técnicas analíticas e instrumentales (análisis de tamaño de partícula por difracción láser, límites de Atterberg, XRF y XRD), lo que permitió identificar un alto contenido de sílice y magnesio, fracción amorfa apreciable y granulometría fina, propiedades que favorecen la activación alcalina. Tras esta caracterización, se procedió al desarrollo de formulaciones para la obtención de materiales geopoliméricos a escala de laboratorio, y posteriormente se evaluó su incorporación en la fabricación de mampuestos no estructurales tipo Bloques de Tierra Comprimida (BTCs).

Las pruebas de desempeño realizadas demostraron que los lodos arcillosos pueden ser utilizados eficazmente en la fabricación de materiales de construcción. En particular, una formulación sin cemento, con incorporación de un aditivo alcalino equivalente al 20 % del peso del lodo, alcanzó una resistencia a la compresión de 1,94 MPa tras 7 días de curado en condiciones ambientales. Este valor se aproxima al umbral mínimo de 2 MPa establecido por la norma NTC 5324 para bloques de suelo-cemento destinados a aplicaciones no estructurales, lo que evidencia la viabilidad técnica del material y la necesidad de ajustes



adicionales en la dosificación y condiciones de curado para cumplir plenamente con la especificación. Este enfoque no solo contribuye a la reducción del impacto ambiental al aprovechar un residuo, sino que también promueve un encadenamiento productivo entre los sectores industriales regionales, fomentando la economía circular en el marco del concepto de simbiosis industrial. En conclusión, el aprovechamiento de los lodos arcillosos provenientes de canteras como recurso para materiales de construcción representa una alternativa técnicamente viable para la gestión de residuos que favorece la sostenibilidad ambiental y la competitividad industrial.

Palabras clave: aprovechamiento de residuos, economía circular, geopolímeros, lodos arcillosos, mampuestos.

Referencias

- [1] Arteaga Medina, K. T., Medina, Ó. H., & Gutiérrez Junco, Ó. J. (2011). Bloque de tierra comprimida como material constructivo [Compressed earth blocks, as construction material]. *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*, 20(31).
- [2] Ferraz, E., Andrejkovičová, S., Hajjaji, W., Velosa, A., Santos Silva, A., & Rocha, F. (2015). Pozzolanic activity of metakaolins by the French standard of the modified Chapelle test: A direct methodology. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 12(3), 289–298. <https://doi.org/10.13168/agg.2015.0026>.
- [3] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2004). NTC 5324: Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega. ICONTEC.
- [4] Redacción Portafolio. (2018, 11 de noviembre). Colombia solo recicla el 17% de los 12 millones de toneladas de residuos sólidos. Portafolio. <https://www.portafolio.co/economia/colombia-solo-recicla-el-17-de-las-12-millones-de-toneladas-de-residuos-solidos-523236>.
- [5] Taj, K., İlcan, H., Teksin, E., Argın, G., Ardoğa, M. K., Uzal, B., & Şahmaran, M. (2023). Effect of duration and type of grinding on the particle size distribution and microstructure of natural pumice with low pozzolanic reactivity. *Powder Technology*, 428, Article 118839. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.118839>.



TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS – VRAEE

Evaluación del potencial tóxico de esmaltes cerámicos con incorporación de metales recuperados de fuentes secundarias

Sergio Lozano Melo ^a, Karen Dayana Salas ^b, Pedro Delvasto ^c, Nadia Mayerly Ardila ^d

^a Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga

^b Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga

^c Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga

^d Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga

Email: checho5417@gmail.com ; karen12sr@gmail.com

Resumen

La creciente generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), como las pilas alcalinas, representa un serio desafío ambiental y sanitario. En Colombia, aunque se han implementado normativas para restringir su disposición en vertederos, la infraestructura de valorización sigue siendo limitada, lo que impide un manejo eficaz de estos desechos. A pesar de que existen plantas de tratamiento, su capacidad es insuficiente frente al volumen generado, y los altos costos logísticos obstaculizan su recolección y exportación [1].

Este proyecto plantea una alternativa sostenible mediante la incorporación de manganeso (Mn) y zinc (Zn), recuperados de residuos electrónicos, en matrices cerámicas a través del proceso de vitrificación. Esta técnica ha demostrado su eficacia al inmovilizar metales pesados dentro de una fase vítrea, reduciendo significativamente su lixiviabilidad y aumentando su estabilidad química, lo que permite su reutilización segura [2]. El enfoque se inscribe dentro de una visión de economía circular, orientada a transformar pasivos ambientales en productos funcionales con valor agregado [3].

Se recuperaron Mn y Zn mediante métodos mecánicos, formulando fritas pigmentadas con diferentes agentes fundentes. Estas se integraron en esmaltes cerámicos y se aplicaron a piezas de prueba sometidas a cocción. Posteriormente, las muestras fueron caracterizadas mediante DRX, FRX, SEM, AAS y ensayos de lixiviación tipo TCLP, con el fin de evaluar la movilidad de los metales en condiciones ambientales simuladas. Estudios previos ya han demostrado que la inclusión de estos metales en matrices cerámicas favorece la formación de fases como espinelas y piroxenos, reduciendo la liberación de contaminantes [4].

Los resultados obtenidos fueron contrastados con normativas como la NTC 4321-15, que establecía los límites permisibles de metales pesados en materiales cerámicos en contacto con alimentos [5]. Este proyecto validó la vitrificación como una tecnología ambientalmente viable para estabilizar metales pesados, promoviendo soluciones prácticas para la valorización de RAEE en la industria cerámica nacional.



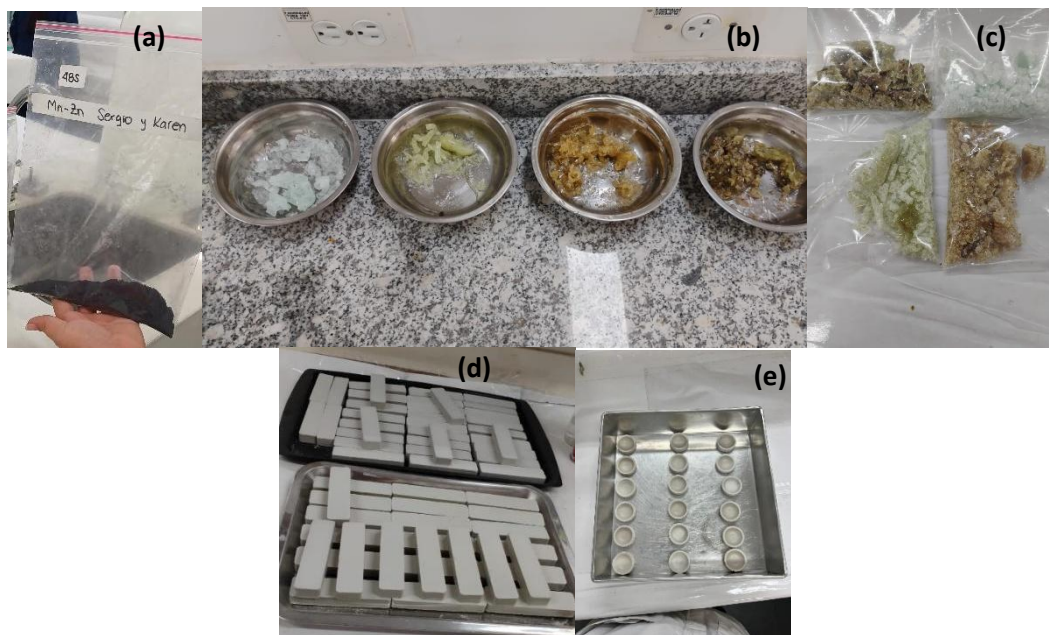
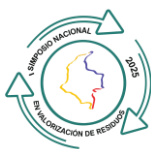


Fig. 1 Etapas experimentales: (a) Precursor obtenido del desembalaje de baterías, (b) Material vitrificado obtenido mediante la aplicación de dos tipos de fundentes y diferentes configuraciones del precursor, (c) Producto vitrificado tras el proceso de secado, (d) y (e) Ladrillos y copelas realizados para la incorporación de recubrimiento de esmaltados.

Referencias.

- [1] S. G. Assías, C. Clavijo, S. Usma, and P. Delvasto, "On the Incorporation of Pristine and Pre-vitrified Alkaline Battery Waste into Non-structural Clay Bricks," 2020.
- [2] R. C. Sanito, M. Bernuy-Zumaeta, S.-J. You, and Y.-F. Wang, "A review on vitrification technologies of hazardous waste," *Journal of Environmental Management*, 2022.
- [3] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *Economía circular y valorización de metales contenidos en residuos de aparatos eléctricos y electrónicos*. Naciones Unidas, 2021.
- [4] B. Rincón Mora, *Sinterización y vitrificación de residuos enriquecidos en Li, Ca, Mn y Cr procedentes de procesos industriales*, Ph.D. dissertation, Universidad Miguel Hernández de Elche, 2017.
- [5] ICONTEC. (2022). *Baldosas cerámicas. Determinación de plomo y cadmio liberados por baldosas (NTC 4321-15)*. ICONTEC.



Vitrificación de un residuo rico en cobalto y evaluación de su potencial como material cerámico mediante ensayos de lixiviación

Paula Valentina Solano Acevedo^a, Kevin Yesid Rodríguez Duarte^b, Pedro Luis Delvasto Angarita^{c,*}, Nadia Mayerly Ardila Santamaría^d.

^{a,b,c,d} Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga

Email: ^a kevin2205129@correo.uis.edu.co

Palabras clave: Vitrificación, Cobalto, Baterías ion-litio, Lixiviación, Esmaltes cerámicos, Toxicidad, Economía circular, Materiales sostenibles.

Resumen

El presente trabajo de investigación aborda el aprovechamiento de residuos derivados de baterías ion-litio desechadas, con el fin de transformarlos en materiales cerámicos funcionales mediante un proceso de vitrificación. Esta iniciativa surge en respuesta al creciente volumen de residuos electrónicos y sus efectos nocivos sobre el ambiente y la salud humana cuando no son reciclados y gestionados adecuadamente. El proyecto se enfoca en una perspectiva de economía circular, proponiendo la reutilización de residuos peligrosos como insumos útiles en la industria cerámica.[1]

Se inicia con la recolección y desmontaje de las baterías ion-litio, a partir de las cuales se obtiene el cátodo que contiene el cobalto como elemento de interés. Luego, dicho material es sometido a procesos físicos de secado, trituración y tamizado para obtener el precursor químico. Este se mezcla con vidrio (cullet) y agentes fundentes como el carbonato de calcio, y se lleva a un proceso térmico a 1050 °C para formar fritas pigmentadas, las cuales al enfriarse rápidamente adquieren una estructura amorfa vítrea, clave para su durabilidad y estabilidad.[2]



Figura 1. Frita pigmentada en su estructura amorfa.

Estas fritas se transforman en esmaltes cerámicos al mezclarse con caolín y agua destilada, generando una suspensión que se aplica sobre probetas cerámicas y se somete a cocción. El esmalte resultante es sometido a pruebas de lixiviación con ácido acético para determinar su



nivel de toxicidad, especialmente en lo relacionado con la liberación de metales pesados como plomo y cadmio. Las pruebas se rigen por normas técnicas como la NTC 4321-15, la NTC-ISO 7086 y la NTC-ISO 8391, junto con métodos instrumentales como la espectrofotometría de absorción atómica (FAAS), la espectrometría ICP-OES y la microscopía SEM-EDS. [3]

Uno de los principales aportes del trabajo es demostrar que, bajo ciertas condiciones de vitrificación y proporciones adecuadas de fundentes, es posible encapsular metales pesados de manera efectiva en una matriz vítrea. Esto permite reducir su lixiviabilidad a niveles que cumplen con las regulaciones vigentes, lo que hace viable su uso en aplicaciones cerámicas, incluso aquellas que se ponen en contacto con alimentos. El estudio también revela que la elección del agente fundente influye significativamente en la estabilidad química del esmalte.[4]

En términos de impacto, este trabajo promueve el desarrollo de tecnologías sostenibles que no solo contribuyen al reciclaje de residuos peligrosos, sino que también impulsan la innovación en la industria cerámica, permitiendo la sustitución de materias primas críticas por alternativas más accesibles. El uso de residuos industriales vitrificados no solo mejora las propiedades mecánicas de los materiales obtenidos, sino que también permite reducir la temperatura de cocción, generando beneficios económicos.[5]

En conclusión, se espera que el proyecto confirme que el residuo rico en cobalto vitrificado presenta características adecuadas para ser usado como aditivo en materiales cerámicos convencionales, siempre que se mantengan los niveles de metales lixiviados por debajo de los valores establecidos en las normas técnicas. Este resultado respaldaría su aplicabilidad práctica, fomentando modelos de producción más limpios y responsables con el medio ambiente.

Referencias.

[1] Baldé, C. P., Forti, V., Kuehr, R., & Bel, G. (2020). Observatorio Mundial de los Residuos Electrónicos 2020: Cantidades, flujos y potencial de la economía circular. *Universidad de Las Naciones Unidas*.

[2] M. F. Gazulla, et al., “DESARROLLO DE PIGMENTOS A PARTIR DE CÁTODOS DE BATERÍAS ION-LITIO AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL”, Accessed: Mar. 31, 2025. [Online]. Available: www.qualicer.org1

[3] USEPA, “Method 1311 Toxicity Characteristic Leaching Procedure,” SW-846 Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, no. July 1992. 1992.

[4] L. Molina, “REFERENCIAL DEL OFICIO DE LA CERÁMICA EN COLOMBIA,” Jul. 2001.

[5] M. Sisti et al., “Sustainable glazes for ceramic tiles: Exploiting inertized man-made vitreous fibres waste as a resource,” *Ceramics International*, vol. 51, no. 4, pp. 4195–4205, Feb. 2025, doi: 10.1016/J.CERAMINT.2024.11.396.



Inertización del Níquel y otros metales de residuos posconsumo en vidrios aprovechables en cerámica tradicional

Juan Camilo Reyes^a, Juan Manuel Malagón^b, Pedro Delvasto^c, Nadia Ardila^d

^a Ingeniería Química, Universidad Industrial del Santander, Bucaramanga

^b Ingeniería Química, Universidad Industrial del Santander, Bucaramanga

^c Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga

^d Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga

Email: ^a Lanjuanreyes@outlook.com ; Email: ^b jmmalagonb@gmail.com

Palabras clave: reciclaje de baterías, vitrificación de residuos, esmaltes cerámicos, TCLP, economía circular.

Resumen

La creciente generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), en especial baterías Ni-MH, plantea retos ambientales, principalmente en su disposición final, por la presencia de metales estratégicos y la liberación de elementos potencialmente tóxicos como níquel (Ni) y cobalto (Co) [1]. La exposición a altas concentraciones, en particular del Ni, puede causar dermatitis alérgica, asma, fibrosis pulmonar, cáncer de pulmón y de cavidad nasal, además de afectar riñones, corazón, sistema nervioso y reproductivo; también atraviesa la placenta y puede provocar malformaciones [2]. Este proyecto propone la valorización de este residuo en el marco de la economía circular regional mediante su vitrificación e incorporación en cerámicas tradicionales, para obtener materiales seguros y funcionales [3].

El objetivo general es evaluar la movilidad por lixiviación de Ni y otros metales contenidos en las baterías Ni-MH, aplicando técnicas de vitrificación para obtener cerámicas. El plan experimental comprende tres fases. En la Fase 1 se formularon productos vítreos (PV) con vidrio reciclado, fundentes (bórax y carbonato de litio) y electrodos de baterías Ni-MH, variando la concentración del precursor proveniente de las baterías [4][5]. Los PV se pulverizaron para usarlos como aditivos en esmaltes cerámicos y se caracterizaron mediante DRX, FRX, FTIR y SEM. Para evaluar estabilidad y seguridad, a estos PV se les realiza el ensayo de lixiviación TCLP, determinando la concentración de metales liberados desde la fase vítrea al medio con la técnica de AAS.

Tabla 1. Distribución de la composición de las baterías desensambladas

Constitución general de las baterías Ni-MH AA					
	Electrodos	acero	plásticos	papel	sustrato soporte
%peso	62,03	20,64	1,84	6,88	8,61

Como parte de los resultados del desensamblaje físico de las baterías Ni-MH AA, se identificó que el precursor rico en níquel representa un 62,03 % de la masa total. Esta data sirvió como base para establecer la pertinencia del aprovechamiento de este residuo rico, en particular, de



óxidos metálicos que fungen como pigmento en la producción de materiales usados en la formulación de vidrios y esmaltes; confirmando el potencial de aprovechamiento metalúrgico y cerámico. Adicionalmente, como preliminar, se realizó un ensayo de color en los PV modificando el porcentaje de precursor desde el 0,5% hasta el 20% en masa de precursor en la formulación para determinar la influencia sobre la saturación del color que tiene el incremento de la concentración de este en la matriz vítrea.

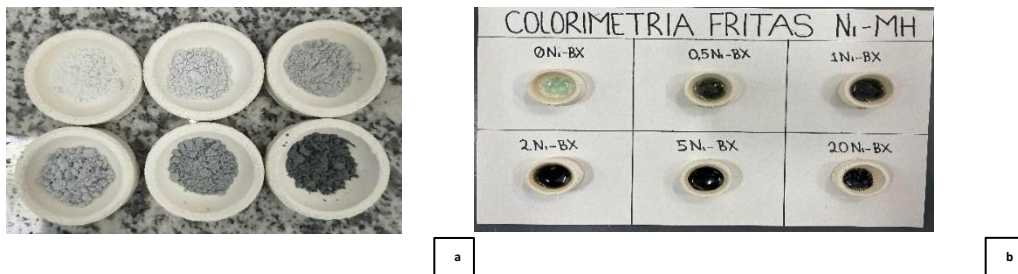


Figura 1. a) fritas de vidrio pigmentadas sobre copela cerámica. b) fritas de vidrio pigmentadas fundidas sobre copela cerámica

Con estos resultados se ha podido aterrizar y enfocar el estudio a aquellas formulaciones que evidencian mayores diferencias, optimizando el uso del precursor. Como aporte principal, este trabajo busca demostrar la viabilidad técnica y la efectividad de una ruta alternativa de valorización para RAEE, enfocándose en la inertización de materiales peligrosos, integrando su recuperación, el uso de residuos vítreos, permitiendo al proyecto alinearse con el desarrollo de la economía circular en la industria cerámica al otorgarle un segundo uso a lo que actualmente son solo residuos contaminantes no aprovechados.

Referencias

- [1] B. Witkowska-Kita, K. Biel, W. Blaschke, and A. Orlicka, "Critical, strategic and deficit raw materials in the waste of electrical and electronic equipment and in batteries and accumulators," *Inzynieria Mineralna*, vol. 2019, no. 1, pp. 189–194, 2019, doi: 10.29227/IM-2019-01-36
- [2] Genchi, G., Carocci, A., Lauria, G., Sinicropi, M. S., & Catalano, A. (2020). Nickel: Human Health and Environmental Toxicology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 679. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030679>
- [3] S. G. Assías, C. Clavijo, S. Usma, and P. Delvasto, "On the Incorporation of Pristine and Pre-vitrified Alkaline Battery Waste into Non-structural Clay Bricks," *Waste Biomass Valorization*, vol. 12, no. 7, pp. 3589–3604, 2021, doi: 10.1007/s12649-020-01259-z
- [4] A. Quintana Acevedo, "Exploración de Alternativas para el Uso de Precursores Químicos Derivados de Residuos Posconsumo e Industriales como Materiales Sustentables," Universidad Industrial de Santander, 2025. Accessed: Apr. 02, 2025. [Online]. Available: <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/45096>
- [5] C. Y. Vargas Angarita, "Formulación de Esmaltes Cerámicos a Partir de Fritas de Vidrio Provenientes de Materias Primas Recicladas," Universidad Industrial de Santander, 2017. Accessed: Apr. 02, 2025. [Online]. Available: <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/45096>



Reducción Pirometalúrgica de Polvos Catódicos de Baterías Ion-Litio desechadas: Avances con Carbono y Exploración de Nuevos Reductores

Brayns Fernando Camilo Motta Osorio¹, Iván Santiago González Oliveros¹, Juan David Céspedes Páez¹, Pedro Luis Delvasto², Nadia Mayerly Ardila²

¹ Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga

² Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga

Email: ivansantiagobrosbros@gmail.com

Resumen

El incremento sostenido en la fabricación de dispositivos electrónicos y vehículos eléctricos ha impulsado la demanda de baterías de ion-litio (LIB), generando un volumen significativo de residuos con valor estratégico y potencial contaminante (Delvasto et al., 2015; Basia et al., 2024). La pirometalurgia surge como alternativa eficaz para recuperar metales críticos como cobalto, níquel y litio, mediante reducción controlada de sus óxidos (Sun & Qiu, 2011) En este trabajo, los polvos mixtos fueron obtenidos a partir del desensamble mecánico de baterías desechadas, con los cuales se formularon pellets autoreductores, posteriormente tratados en mufla. El estudio se apoyó en simulaciones termodinámicas con HSC Chemistry y técnicas de caracterización avanzada.



Figura 1. (A) Esquema conceptual del proceso. (B) Polvos catódicos obtenidos de baterías Li-ion. (C) Pellets autoreductores después de la etapa de secado. (D) Montaje de pellets en horno tipo mufla.

El análisis mediante diagrama de Ellingham para el carbono mostró que la reducción de óxidos de cobalto se vuelve espontánea a partir de 600–700 °C, estableciendo este intervalo como crítico para el inicio de la metalización. En concordancia, los ensayos a 800 y 900 °C durante 1–2 h evidenciaron una transición clara: a 800 °C persistieron fases de Co_3O_4 junto con formación de CoO , señales de carbonatos en FTIR y una microestructura porosa con partículas metálicas dispersas, reflejando una reducción incompleta. En cambio, a 900 °C se observó una marcada disminución de Co_3O_4 , intensificación de picos de CoO y Co metálico, reducción de las bandas de carbonatos y una microestructura más densa con coalescencia de partículas metálicas, confirmada por EDS. Estos resultados confirman que el rango 800–900 °C constituye una zona



de transición crítica donde la reducción pasade parcial a un estado avanzado de metalización.

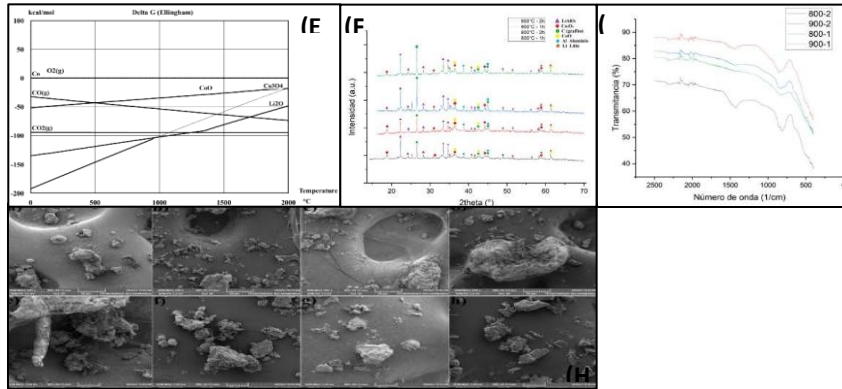


Figura 2. (E) Simulación termodinámica empleando HSC Chemistry 6.0 (F) Difractogramas de las muestras a 800°C y 900°C empleando software Match! 3.0 (G) Espectro FTIR de las muestras a 800°C y 900°C (H) a) 800°C – 1h 500x, b) 800°C – 2h 500x, c) 900°C – 1h 500, d) 900°C – 2h 500x, e) 800°C – 1h 1000x, f) 800°C – 2h 1000x, g) 900°C – 1h 1000x, h) 900°C – 2h 1000x.

En conjunto, los hallazgos resaltan la capacidad reductora de los pellets y la viabilidad de aplicar procesos pirometalúrgicos para valorizar residuos de LIB, contribuyendo a la recuperación de metales estratégicos y a la mitigación de impactos ambientales, en línea con los objetivos de sostenibilidad y economía circular (CEPAL, 2021).

Futuras investigaciones considerarán la implementación de aluminotermia y silicotermia como rutas complementarias, dado su mayor potencial reductor frente al carbono (ver figura 3). Asimismo, se proyecta el escalado experimental en hornos de gas y la optimización de parámetros de operación para consolidar esta tecnología como una alternativa sostenible de aprovechamiento de residuos tecnológicos en el país.

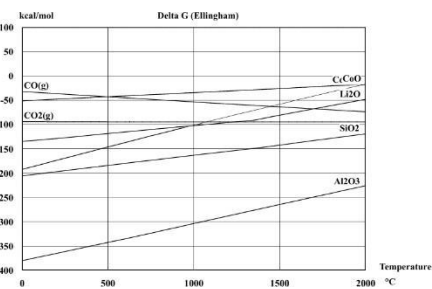


Figura 3. Simulación termodinámica empleando HSC Chemistry 6.

Referencias

- Delvasto, P., Niño, C., & Moreno, I. (2015). Minería urbana: las pilas y baterías gastadas como recurso metalífero. VIII Congreso Internacional de Materiales, Paipa, Colombia.
- Sun, L., & Qiu, K. (2011). Vacuum pyrolysis and hydrometallurgical process for the recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries. *Journal of Hazardous Materials*, 194, 378–384.
- Cuadrado, J. J., & Benavides, L. A. (2018). Evaluación teórica del impacto de la incorporación de baterías gastadas en un proceso pirometalúrgico convencional. Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander.
- CEPAL (2021). Economía circular y valorización de metales contenidos en residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Naciones Unidas.



Extracción de metales del cátodo de Baterías Ion – Litio gastadas mediante tecnología de ultrasonido focalizado

Santiago Bedoya Betancur^{a,b*}, Erasmo Arriola-Villaseñor^{a,b},
Alba N. Ardila A^c, Luz M. Ocampo C^a.

^a Grupo de Investigación Ciencia y Tecnología de Materiales (CTM), Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Facultad de Minas.

^b Grupo de Investigación en Catálisis Ambiental y Energías Renovables (CAMER), Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Facultad de Ciencias y Educación
sabedoyab@unal.edu.co

Resumen

La disposición inadecuada de Baterías Ion-Litio (BILs) gastadas genera riesgos ambientales debido a su contenido de metales valiosos y tóxicos, como el cobalto, litio, cobre, manganeso, aluminio y otros en trazas. La lixiviación se presenta como una alternativa sostenible para la recuperación de estos metales, reduciendo la dependencia de fuentes primarias y fomentando la economía circular. Sin embargo, el desarrollo de métodos eficientes y sostenibles, que minimicen el impacto ambiental, sigue siendo un desafío técnico y científico [1].

En este contexto, se llevó a cabo un estudio para evaluar la eficiencia de lixiviación de cátodos de BILs utilizando diferentes agentes lixiviantes como el ácido cítrico y sulfúrico, ambos en presencia y ausencia de peróxido de hidrógeno [2]. Las lixiviaciones se llevaron a cabo con una amplitud de sonicación del 100%, temperatura de 65 °C y un tiempo de reacción de 4 horas, con una masa de cátodo fija. Bajo estas condiciones se evaluó el porcentaje de eficiencia de recuperación de metales. Para ello se realizaron 4 lixiviaciones denominadas como M1: ácido cítrico sin peróxido de hidrógeno, M2: ácido cítrico con peróxido de hidrógeno, M3: ácido sulfúrico sin peróxido de hidrógeno y M4: ácido sulfúrico con peróxido de hidrógeno.

Los resultados mostraron que el uso de peróxido de hidrógeno incrementó la eficiencia de lixiviación para la mayoría de los metales estudiados. En particular, las condiciones con ácido sulfúrico y peróxido (M4) lograron las mayores eficiencias, superando el 90% para elementos clave como litio, cobalto y manganeso, mientras que el ácido cítrico con peróxido de hidrógeno (M2) también mostró un buen desempeño, aunque ligeramente inferior. Por otro lado, los métodos sin peróxido (M1 y M3) presentaron eficiencias significativamente menores, especialmente para cobalto y aluminio, evidenciando la importancia del agente oxidante en la disolución de los metales (Figura 1).



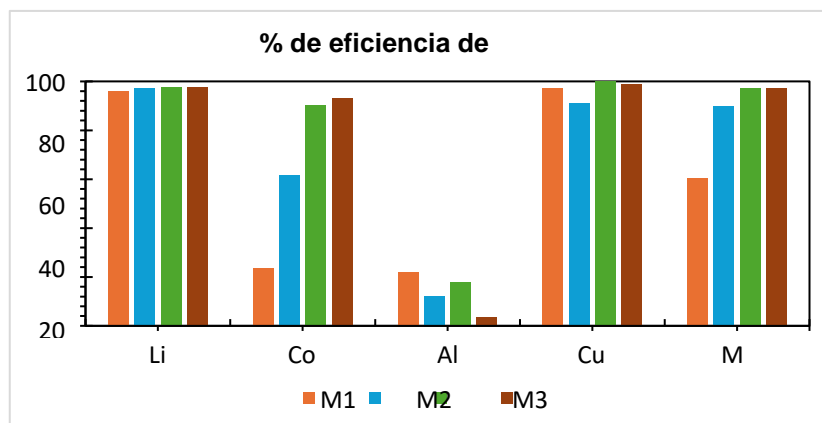


Figura 1. Porcentaje de eficiencia de lixiviación de metales pesados en cátodo de BILs gastadas bajo diferentes condiciones de proceso.

Este estudio reafirma la importancia de explorar métodos sostenibles como el uso de ácidos orgánicos combinados con tecnologías avanzadas, como la sonicación, que permiten obtener eficiencias de lixiviación competitivas entre las distintas metodologías. Sin embargo, se identificaron dos aspectos relevantes: el ácido sulfúrico, aunque altamente eficiente, es un ácido fuerte corrosivo cuya utilización debería ser limitada, mientras que el ácido cítrico, aunque menos contaminante, es considerablemente más costoso. Por ejemplo, sitios como Sigma-Aldrich reportan costos superiores al 60% por gramo en comparación con el ácido sulfúrico, lo que podría limitar su viabilidad en aplicaciones a escala industrial [3]. En conclusión, la lixiviación asistida por sonicación se perfila como una técnica prometedora para la recuperación de metales valiosos de las BILs gastadas. Estos resultados ofrecen una base sólida para el diseño de procesos industriales más eficientes y ambientalmente responsables, considerando un equilibrio entre la sostenibilidad ambiental y la viabilidad económica.

Referencias

- [1] K. Liivand, J. Sainio, B. P. Wilson, I. Kruusenberg, and M. Lundström, "Overlooked residue of Li-ion battery recycling waste as high-value bifunctional oxygen electrocatalyst for Zn-air batteries," *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 332, no. April, 2023, doi: 10.1016/j.apcatb.2023.122767.
- [2] J. Zhang, D. Chen, J. Jiao, W. Zeng, and S. Mu, "Valorization of spent lithium-ion battery cathode materials for energy conversion reactions," *Green Energy Environ.*, 2025, doi: 10.1016/j.gee.2024.10.006.
- [3] B. P. Shivamurthy, S. P. Kirdant, S. Katakam, P. Rawat, V. H. Jadhav, and G. P. Nayaka, "Performance scrutiny of spent lithium-ion batteries cathode material as a catalyst for oxidation of benzyl alcohol," *Next Sustain.*, vol. 3, no. November 2023, p. 100017, 2024, doi: 10.1016/j.nxsust.2023.100017.



TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE RESIDUOS MINEROS Y DE ORIGEN METÁLICO- VREMOM

Síntesis y Caracterización del Nanocompuesto IONP - CQD como Adsorbente de Metales Pesados para la Remediación de Aguas Simuladas

Joseph Castro Martinez^{a*}, Daniel Llamosa ^a, Javier Rincon ^a

^a Facultad de Ciencias, Pregrado en Bioquímica, Universidad Antonio Nariño, Bogotá, Colombia.

Email: ^a gcastro77@uan.edu.co

Resumen

La contaminación de recursos hídricos con metales pesados, como el cromo hexavalente (Cr^{6+}), constituye una problemática histórica y persistente en Colombia, lo que ha impulsado la búsqueda de tecnologías de remediación más sostenibles [1]. En este contexto, la nanotecnología emerge como una solución prometedora, particularmente a través de la síntesis verde de nanomateriales que aprovechan extractos biológicos y residuos agroindustriales, reduciendo el uso de reactivos tóxicos y alineándose con los principios de la economía circular [2].

Este trabajo se centra en el desarrollo de un nanocompuesto mixto de nanopartículas de óxido de hierro y puntos cuánticos de carbono (IONP-CQD), obtenidos a partir del aprovechamiento integral del fruto de arándano (*Vaccinium corymbosum*). En la primera etapa, un extracto acuoso del fruto actúa como agente reductor y estabilizante para la síntesis de las nanopartículas de óxido de hierro mediante una vía húmeda asistida por ultrasonido. Posteriormente, la biomasa residual liofilizada se emplea como precursor para la obtención de puntos cuánticos de carbono mediante irradiación por microondas, asegurando la valorización completa del recurso. Los fitoquímicos presentes en el arándano, como polifenoles y antocianinas, facilitan la reducción de los precursores iónicos y previenen la agregación, confiriendo mayor estabilidad coloidal y biocompatibilidad al nanocompuesto [3,4].

Ensayos preliminares, enfocados en los puntos cuánticos de carbono (CQDs) sintetizados por esta ruta verde, ya han demostrado un potencial excepcional, logrando una remoción de Cr^{6+} cercana al 100% en un intervalo de 2.5 horas.

Basado en este prometedor antecedente, el objetivo principal de este trabajo es avanzar en la integración de estos CQDs con las nanopartículas de óxido de hierro para consolidar el nanocompuesto magnético. Se espera que el material final no solo conserve la alta capacidad de adsorción demostrada por los CQDs, sino que además facilite su recuperación y reutilización gracias a sus propiedades magnéticas [5], posicionándose como una solución innovadora y sostenible para la remediación ambiental.

Palabras claves: Síntesis verde, Arándano, Remoción de metales pesados, Puntos cuánticos de carbono, Nanopartículas de óxido de hierro.



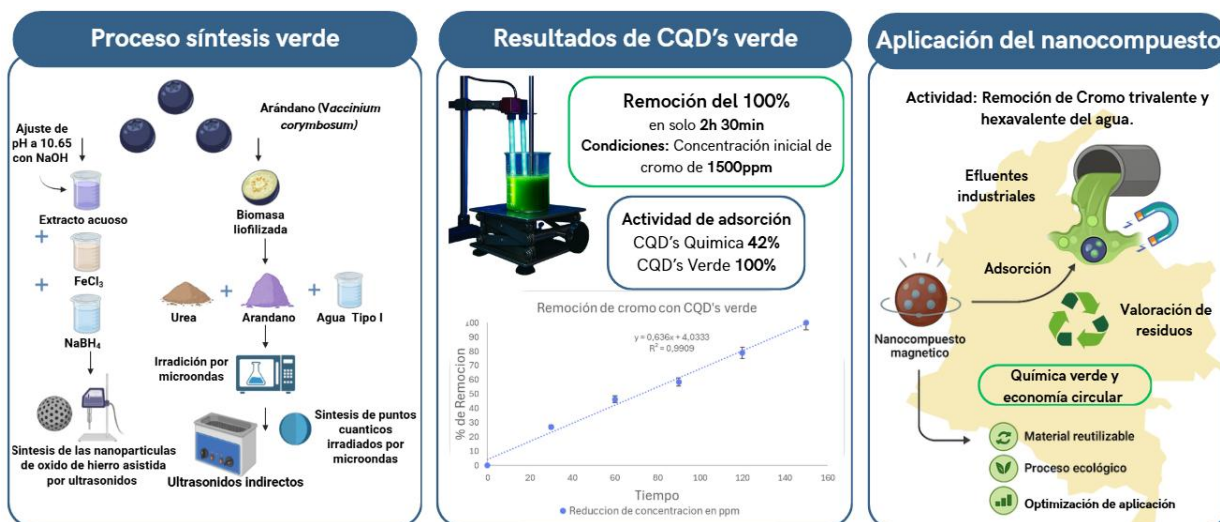


Figura 1. Resumen gráfico del proceso de síntesis verde del nanocompuesto magnético, su aplicación en la remoción de cromo trivalente (Cr^{3+}) y hexavalente (Cr^{6+}) del agua y resultados obtenidos de los puntos cuánticos de carbono por una ruta fitogénica.

Referencias

- [1] V. A. Arias Espana, A. R. Rodriguez Pinilla, P. Bardos, and R. Naidu, "Contaminated land in Colombia: A critical review of current status and future approach for the management of contaminated sites," Mar. 15, 2018, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.245.
- [2] S. F. Ahmed *et al.*, "Green approaches in synthesising nanomaterials for environmental nanobioremediation: Technological advancements, applications, benefits and challenges," *Environ Res*, vol. 204, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.envres.2021.111967.
- [3] D. Asmat-Campos, D. Delfín-Narciso, L. Juárez-Cortijo, R. Nazario, R. Rengifo, and E. Asmat, "Green synthesis and characterization of silver nanoparticles, by the reductive action of the aqueous extract of blueberry (*Vaccinium corymbosum*)," in *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2019. doi: 10.18687/LACCEI2019.1.1.92.
- [4] Y. Wang *et al.*, "Green synthesis of nanoparticles for the remediation of contaminated waters and soils: Constituents, synthesizing methods, and influencing factors," Jul. 20, 2019, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.128.
- [5] C. Liosis, A. Papadopoulou, E. Karvelas, T. E. Karakasidis, and I. E. Sarris, "Heavy metal adsorption using magnetic nanoparticles for water purification: A critical review," Dec. 01, 2021, *MDPI.* doi: 10.3390/ma14247500



Resultados preliminares del estudio de residuos de coque con potencial aplicación como soporte

Andrés M. Hernández^a, Julieta A. Rubio^a, Eduard Romero-Malagón^a, Yazmin Agamez-Pertuz^a

^a Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
andhernandezga@unal.edu.co

Palabras clave: Coque, Bohem, grupo funcional, soporte

Resumen

El constante aumento de desechos a nivel mundial ha incentivado el desarrollo de estrategias para mitigar su impacto ambiental, ya sea mediante su eliminación o a través de su reutilización de una manera ecológica y eficiente [1]. Entre estos residuos se encuentra el carbón metalúrgico, también conocido como coque (CK), un sólido poroso obtenido mediante pirólisis del carbón en hornos de coquización. Su uso principal es como combustible y agente reductor, además de constituir un componente esencial en la fabricación de acero en la industria siderúrgica [2]. Adicionalmente, se emplea en el pretratamiento de aguas en procesos de filtración en acueductos [3]. Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio es evaluar el potencial de residuos carbonosos empleados en los sistemas de filtración de las plantas de tratamiento de agua de los acueductos de Guaduas (Cundinamarca, Colombia) y Aguazul (Casanare, Colombia), para su aplicación como soporte de catalizadores en reacciones de hidrogenación.

Para utilizar el CK como soporte, es necesario activarlo con el fin de incrementar su porosidad y área superficial, lo que permite una adecuada dispersión y distribución de los sitios activos. Su actividad depende de propiedades como el área superficial y la cantidad y tipo de grupos funcionales presentes, ya que estos controlan las propiedades ácido-base, redox y la interacción fase activa-soporte, favoreciendo así una mayor actividad catalítica [4]. Por ello, la caracterización de la naturaleza y cantidad de grupos funcionales en el CK es de gran importancia. Este parámetro puede reportarse como funcionalidad superficial carbonosa (n_{scfm}); En el proceso experimental se seleccionó una muestra de CK proveniente de la planta del acueducto de Guaduas (Cundinamarca, Colombia). La muestra fue sometida a trituración, molienda y tamizado, hasta obtener un tamaño de partícula de 0,19 mm. Posteriormente, se realizaron tratamientos con ácido nítrico (HNO_3) y oxígeno para modificar sus características superficiales y optimizarlo como soporte catalítico. El CK sin tratamiento fue designado como **C1**; el tratado con HNO_3 12 M, como **C2**; y el tratado con HNO_3 12 M y oxígeno, como **C3**.

La caracterización de los grupos funcionales presentes en cada muestra se llevó a cabo mediante titulaciones de Boehm, las cuales permiten determinar la presencia de grupos fenólicos, lactónicos y carboxílicos en materiales carbonosos [5]. El procedimiento consistió en poner en contacto una cantidad determinada de cada muestra (C1, C2 y C3) con



disoluciones de NaOH 0,84 M, Na₂CO₃ 0,05 M y NaHCO₃ 0,05 M, bajo agitación moderada en tubos Falcon durante 18 horas. Luego, se filtró el contenido para separar el coque y se acidificó con HCl 0,05 M. Posteriormente, se eliminó el CO₂ disuelto, proveniente de los carbonatos de los buffers, mediante dos métodos: (i) Burbujeo de N₂ durante 10 minutos y (ii) Agitación vigorosa durante 10 minutos. En ambos casos, la disolución resultante fue titulada potenciométricamente con NaOH 0,8 M para determinar la funcionalidad superficial carbonosa de cada muestra y verificar si el método de eliminación de CO₂ influía en los resultados. Los resultados mostraron que el método de eliminación de CO₂ no tuvo un efecto significativo en los valores de n_{scfm} obtenidos, por lo cual tanto la agitación como el burbujeo con N₂ resultaron igualmente eficientes. Asimismo, se determinó que los tratamientos con oxígeno y ácido no produjeron cambios significativos en la proporción ni en la cantidad de grupos funcionales presentes en el CK. Los valores obtenidos oscilaron entre 0,039 y 0,049 para grupos fenólicos, alrededor de 0,026 para lactonas y 0,006 para ácidos carboxílicos [5], sin establecerse una relación clara entre los valores de n_{scfm} y el tipo de tratamiento aplicado

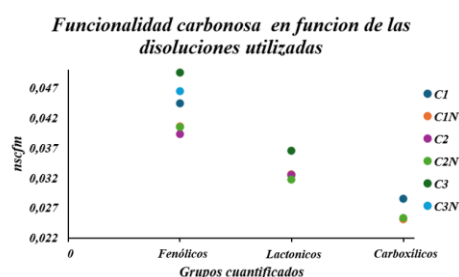


Figura 1. Figura correspondiente a los obtenidos de la n_{scfm} en función de la disolución utilizada, donde en el eje “y” se encuentran los datos correspondientes a los n_{scfm} obtenidos, siendo; C1: Carbón-Coque sin ningún de tratamiento, C2: Coque solo tratado con HNO₃ 12 M, C3: Coque tratado con HNO₃, 12 M y Oxígeno.

Referencias

- [1] T. H. Wang, Y. C. Lin, C. J. Hung, Y. Liao, and R. X. Xu, “Adopting abundant seawater as green chemical activators for preparing high surface area biochar,” *Bioresour. Technol. Reports*, vol. 21, no. November 2022, 2023.
- [2] S. de R. del T. SRT, “Guía De Actuación Y Diagnóstico De Enfermedades Profesionales: 14.7 Producción De Coque,” 2019.
- [3] Ministerio de Desarrollo Económico, “RAS 2000, Título A - Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico. Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia,” *Reglam. Técnico Del Sect. Agua Potable Y Saneam. Basico*, p. 114, 2000.
- [4] Asociación Española de Pediatría, “Carbón activado,” *Pediamécum AEP*, pp. 1–2, 2015.
- [5] Oickle, A. M., Goertzen, S. L., Hopper, K. R., Abdalla, Y. O., & Andreas, H. A. (2010). Standardization of the Boehm titration: Part II. Method of agitation, effect of filtering and dilute titrant. *Carbon*, 48(12), 3313–3322. doi:10.1016/j.carbon.2010.05.004



TRABAJOS ÁREA TEMÁTICA: ECONOMÍA CIRCULAR, ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA, SOSTENIBILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA - ECACV

Retos y oportunidades para la economía circular en la industria del cuero: caso de estudio Cueros Vélez.

Alba María Contreras Medina^{*A}, Laura Carvajal Muñoz^b, Paula Prada Culma^C, Andrea Tamayo Londoño^d

^a *Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín.*

^b *Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín.*

^c *Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín.*

^d *Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín.*

Email: ^a albac@est.colmayor.edu.co

Resumen

La industria del cuero es una de las más importantes a nivel mundial, tanto por su impacto económico como por la cantidad de empleos que genera, sin embargo, su rápido crecimiento se basa en un modelo de producción lineal, es decir, consumo masivo de recursos, donde estos son extraídos para fabricar un producto que luego es desechado, generando grandes cantidades de residuos sólidos que terminan en rellenos sanitarios, aportando a la contaminación y a la reducción de la vida útil de estos [1] [2]. Frente a este problema, este proyecto busca identificar los retos y oportunidades de economía circular en la industria del cuero, como primer paso para transitar hacia el cierre de ciclos, mejorando sus aportes a la sostenibilidad y al cambio climático.

Como caso de estudio se tomó la empresa colombiana Cueros Vélez, la cual se dedica a la producción de cuero, fabricación de ropa, calzado y marroquinería, en esta se realiza un diagnóstico a través de un instrumento de observación participante (entrevistas, encuestas); iniciando con el reconocimiento de sistemas y subsistemas en los procesos, priorizando así la etapa de producción del cuero. Del primer trabajo de campo, se identifican cinco (5) tipos de residuos ordinarios que hoy van al relleno sanitario, representando cerca de 20 Ton/mes y que son susceptibles de ingresar en un esquema de economía circular.

Seguidamente se analiza el flujo de materiales en cada etapa del proceso, identificando los puntos en los que se originan estos residuos sólidos y se les aplica una caracterización a los que hoy son considerados como ordinarios por sus propiedades físico-químicas, cantidad producida y frecuencia, paralelamente se realiza la revisión y categorización de la información de residuos reportada en el informe de sostenibilidad de la compañía (2023) y en instrumentos como el PMIRS.

En visitas posteriores se complementará esta información realizando aforos de acuerdo a lo descrito en el RAS Título F, hasta llegar a un balance de materia. Todos los datos



obtenidos serán organizados y analizados a través de sesiones de discusión con expertos en la industria del cuero y en el área de sostenibilidad ambiental.

Por último, se construirá una hoja de ruta para la EC de los residuos sólidos ordinarios, empleando la metodología toma de decisiones multicriterio (MCDM), ya que permite la evaluación de alternativas existentes al aplicar simultáneamente criterios conflictivos y así ayudando a mejorar la toma de decisiones en las industrias del cuero [3]. En la matriz se identificará para cada residuo su potencial de reducción o eliminación tras la aplicación de los principios de EC: Eco concepción, Ecología Industrial y territorial, Economía de la Funcionalidad, Segundo uso, Reutilización, Reparación, Aprovechamiento, Reciclaje o Valorización. Por medio de la Revisión Sistemática de literatura que se llevará a cabo por el método prisma y la Vigilancia Tecnológica [4] [5]. Las tecnologías, métodos y/o procesos identificados serán calificados bajo los criterios: técnicos, financieros, ambientales y seguridad y salud en el trabajo, los cuales tendrán una calificación numérica ponderada, previamente construida de la mano con la empresa caso de estudio. También tendrá una clasificación semáforo que indicara cual es el principio de EC más viable para cada uno de los residuos identificados, lo que permitirá a la empresa tomar decisiones frente a los residuos que genera.

Palabras clave: Estrategias de economía circular, Industria del cuero, Sistema y subsistemas, Valorización residuos sólidos ordinarios, Método Multicriterio.

Referencias

- [1] M. A. Moktadir and J. Ren, “Tannery solid waste valorization for achieving SDGs: An innovative decision-making model for critical success factors analysis and sustainable technology selection,” *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 177, pp. 1272–1293, Sep. 2023, doi: 10.1016/J.PSEP.2023.07.072.
- [2] J. Shi, R. Zhang, Z. Mi, S. Lyu, and J. Ma, “Engineering a sustainable chrome-free leather processing based on novel lightfast wet-white tanning system towards eco-leather manufacture,” *J Clean Prod*, vol. 282, p. 124504, Feb. 2021, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.124504.
- [3] K. Karuppiah, B. Sankaranarayanan, S. M. Ali, C. J. C. Jabbour, and R. K. A. Bhalaji, “Inhibitors to circular economy practices in the leather industry using an integrated approach: Implications for sustainable development goals in emerging economies,” *Sustain Prod Consum*, vol. 27, pp. 1554–1568, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.spc.2021.03.015.
- [4] M. A. Moktadir, H. B. Ahmadi, R. Sultana, F. T. Zohra, J. J. H. Liou, and J. Rezaei, “Circular economy practices in the leather industry: A practical step towards sustainable development,” *J Clean Prod*, vol. 251, p. 119737, Apr. 2020, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2019.119737.
- [5] S. K. Verma and P. C. Sharma, “Current trends in solid tannery waste management,” *Crit Rev Biotechnol*, vol. 43, no. 5, pp. 805–822, 2023, doi: 10.1080/07388551.2022.20689



Midiendo ciudades sostenibles: Armenia, Pereira y Manizales bajo la lupa del ODS 11

***Sebastián Vallejo Aguirre^a, *Lorena Villegas Muñoz^b**

^a Ingeniero Industrial, Corporación Universitaria Empresarial Alexander von Humboldt, Armenia

^b Economista, MBA con énfasis en Gestión de Calidad y Medio Ambiente, Corporación Universitaria Empresarial Alexander von Humboldt, Armenia

Email: ^a svallejo1010@cue.edu.co, ^b lvillegas247@cue.edu.co

Resumen

El compromiso de las ciudades hacia un desarrollo urbano sostenible es un pilar fundamental de la Agenda 2030, que promueve comunidades inclusivas, seguras, sostenibles y resilientes. Este estudio tiene como objetivo evaluar el cumplimiento del ODS 11 en las ciudades capitales del Eje Cafetero (Armenia, Pereira y Manizales) mediante una metodología basada en DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), propia del enfoque ingenieril orientado a la mejora continua y adaptada al monitoreo de indicadores de sostenibilidad urbana.

La metodología DMAIC guía todo el proceso. En la fase Definir se determinaron tanto los cinco componentes de evaluación, conforme a los criterios de la ONU (acceso a servicios básicos, urbanización inclusiva–déficit habitacional, espacios públicos accesibles, planificación del desarrollo regional y conservación del patrimonio cultural y natural) como la herramienta tecnológica a emplear, seleccionando Power BI por su capacidad de integrar y visualizar datos de forma dinámica. En esta etapa también se diseñaron formularios normalizados y se establecieron variables e indicadores de cumplimiento. En la fase Medir, se recopilaban datos oficiales del DANE, alcaldías y planes de desarrollo, estructurando y normalizando bases por componente para su posterior enlace con Power BI, donde se desarrollaron métricas DAX, alertas de cumplimiento y visualizaciones interactivas. La fase Analizar permitirá identificar cumplimientos, brechas y tendencias mediante reportes comparativos por ciudad y componente. En Mejorar, se plantean ajustes para optimizar la herramienta y la presentación de resultados, mientras que en Controlar se documentará un procedimiento que garantice su uso y actualización continua.

A continuación, se presenta la Tabla 1 que corresponde a la operacionalización de variables centrales en la investigación para el desarrollo de los objetivos y obtención de resultados:



Tabla 1. Variables centrales de análisis y medición (Fuente: [5])

Ítem	Variables de análisis	Criterios mínimos de cumplimiento – ONU
Acceso a servicios básicos	Agua, energía, saneamiento	70% de la población con acceso a servicios básicos
Urbanización inclusiva	Condiciones de informalidad de la vivienda (según DANE)	10% de viviendas mejoradas o formalizadas
Espacios públicos accesibles y seguros	Medición de amenities urbanos (zonas verdes con imágenes satelitales)	Mínimo 60% de la población con acceso a estos espacios a menos de 10 minutos caminando desde su casa
Planificación del desarrollo regional	Articulación de los planes de desarrollo municipal con el PND y metas del ODS 11	100% de alineación
Patrimonio cultural y natural	Cumplimiento de características para la preservación del Paisaje Cultural Cafetero (UNESCO)	70% de cumplimiento de estándares

A modo de síntesis, en la Figura 1 se presentan los resultados consolidados de la información referente al porcentaje de hogares con acceso a servicios básicos por ciudad en el año 2023:

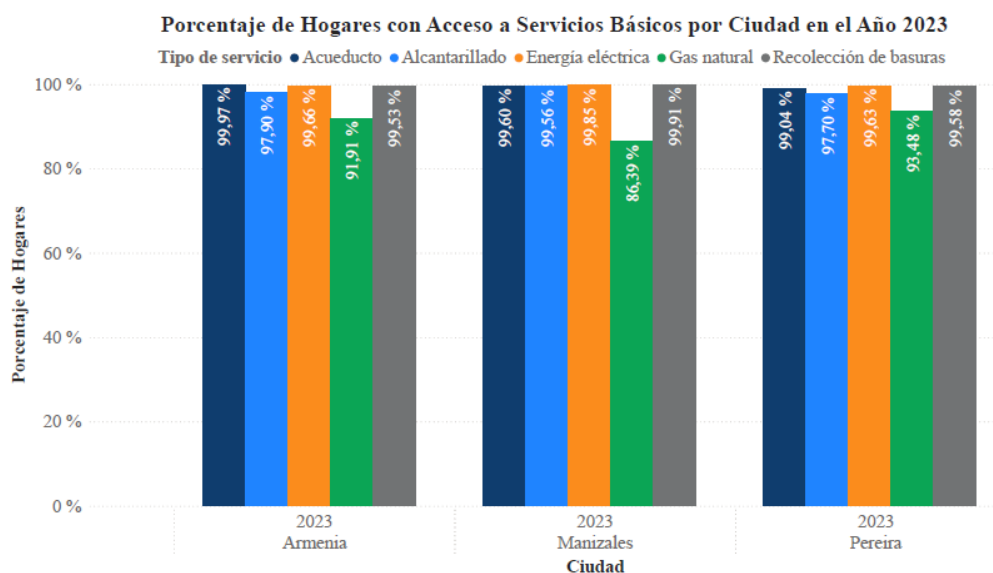


Figura 1. Porcentaje de hogares con acceso a servicios básicos por ciudad en el año 2023 (Fuente: [1], [2], [3], [4]).

La investigación se encuentra en curso, por lo que los resultados presentados son parciales. El primer objetivo muestra un avance significativo con la evaluación de tres componentes: acceso a servicios básicos, urbanización inclusiva–déficit habitacional y planificación del desarrollo regional. Para 2024, las tres ciudades superan el 97% de cobertura en acueducto, alcantarillado y energía eléctrica, aunque persisten brechas en gas natural y alcantarillado. En déficit habitacional, Pereira alcanzó la meta ONU del 10% de reducción, Manizales estuvo cerca y Armenia no la superó. En el segundo objetivo, la herramienta en Power BI se encuentra en fase de análisis, generando reportes comparativos y visualizaciones para los componentes evaluados. El tercer objetivo avanza con el desarrollo de métricas, alertas y paneles interactivos para los tres componentes trabajados. En conjunto, los resultados reflejan avances importantes en sostenibilidad urbana y en la consolidación de una herramienta replicable que facilita el monitoreo y la evaluación del ODS 11 en las ciudades capitales del Eje Cafetero.

Palabras clave: Desarrollo sostenible, Ciudades sostenibles, Comunidades sostenibles, Desarrollo inmobiliario, Expansión urbana, Metodología DMAIC.

Referencias

- [1] Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, Encuesta Nacional de Calidad de Vida 2020. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/calidad-de-vida-ecv/encuesta-nacional-de-calidad-de-vida-ecv-2020>
- [2] Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, Encuesta Nacional de Calidad de Vida 2021. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/calidad-de-vida-ecv/encuesta-nacional-de-calidad-de-vida-ecv-2021>
- [3] Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, Encuesta Nacional de Calidad de Vida 2022. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/calidad-de-vida-ecv/encuesta-nacional-de-calidad-de-vida-ecv-2022>
- [4] Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, Encuesta Nacional de Calidad de Vida 2023. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/calidad-de-vida-ecv/encuesta-nacional-de-calidad-de-vida-ecv-2023>
- [5] C. Bermúdez, A. M. Florez, y L. Villegas, Propuesta de investigación sobre Evaluación del Desarrollo Inmobiliario y la Sostenibilidad en las ciudades capitales del Eje Cafetero según los criterios del ODS 11 y la Declaratoria de Ciudades Sostenibles 2024. Armenia, Colombia: Universidad Alexander von Humboldt, 2024.



Aprovechamiento de residuos del café para la extracción de cafeína: hacia el desarrollo de una bebida energizante funcional a partir de cáscara de café

*Villazon-Villazon C.^a, Jiménez-Ascanio A. ^a, Sandoval-Rincón M. ^a, Durán-García D.^a

^a Universidad Nacional de Colombia Sede de La Paz, La Paz, Colombia

Email: ^a diduran@unal.edu.co

Palabras clave: Valorización de residuos, Cáscara de café, Antioxidantes, Bebida energizante, cafeína.

Resumen

Colombia es uno de los principales países productores y exportadores de café a nivel mundial, ocupando el tercer lugar en la clasificación global. Esta industria genera una gran cantidad de residuos, principalmente durante la etapa de beneficio del grano. Según la Federación Nacional de Cafeteros, se producen en promedio 37500 kilogramos por hectárea de café en cereza, de los cuales solo un pequeño porcentaje (aproximadamente el 5 %) se transforma en grano verde apto para la exportación y consumo. El resto, que equivale a más del 90 % de la biomasa generada, se convierte en residuos agroindustriales como cáscara, mucílago y pergamino, los cuales suelen desecharse sin tratamiento, generando problemas de contaminación en suelos y fuentes hídricas [1].

La cáscara de café representa cerca del 46 % del total de la biomasa residual del grano y contiene compuestos de alto valor funcional como cafeína, compuestos fenólicos, azúcares solubles y lignocelulosa [1]. Sin embargo, a pesar de su riqueza química y su potencial como materia prima para productos de alto valor agregado, su aprovechamiento industrial sigue siendo limitado. En este contexto, el presente trabajo de investigación propone la valorización de la cáscara de café mediante la extracción de cafeína, con el objetivo de utilizarla como ingrediente activo en el desarrollo de una bebida energizante natural. Para alcanzar este objetivo, se plantearon dos métodos de extracción de cafeína a partir de la cáscara de café, seleccionados por su potencial de eficiencia y sustentabilidad. El primer método consistió en la extracción con fluidos supercríticos (EFS), una técnica considerada verde por su bajo impacto ambiental, la cual emplea dióxido de carbono (CO₂) en estado supercrítico como solvente de extracción. Se utilizaron tres niveles de presión (250, 300 y 350 bar) y una temperatura constante de 80 °C. Además, se incorporaron cosolventes como etanol al 96 % y una mezcla de etanol:agua (50:50) para mejorar la solubilidad de los compuestos polares [2]. Previo al proceso de extracción, la cáscara fue sometida a tratamientos enzimáticos y químicos para facilitar la liberación de los compuestos bioactivos. El segundo método consistió en una hidrólisis química (HQ) utilizando hidróxido de sodio (NaOH) al 2 % con una relación masa/solvente de 1:5, a una temperatura de 95 °C durante una hora [3]. La solución resultante fue sometida a una extracción líquido-líquido continua (CLLE) con diclorometano como solvente orgánico, en una proporción volumen/volumen de 1:1, a una temperatura de 38 °C durante 16 horas.



Para la cuantificación de cafeína en los extractos obtenidos, se utilizó espectrofotometría UV-Visible a una longitud de onda de 273 nm. Se construyó una curva de calibración con cafeína de grado analítico en un rango de concentración de 10 a 100 ppm. Los resultados mostraron que el método EFS permitió obtener un rendimiento máximo de 63,6 mg de cafeína/g de extracto seco, siendo la condición óptima aquella con mayor presión y etanol como cosolvente. Por otro lado, el método HQ-CLLE mostró un rendimiento significativamente mayor, alcanzando hasta 840 mg de cafeína/g de extracto seco, lo que evidencia una notable eficiencia en la recuperación del alcaloide en comparación con EFS. A partir de estos resultados se estableció la base para formular una bebida energizante funcional (antioxidante), empleando la cafeína de la cáscara de café como ingrediente activo y complementada con extractos de cáscara de limón criollo (*Citrus aurantifolia*) y hojas de pronto alivio (*Lippia alba*), subproductos agrícolas de reconocida capacidad antioxidante y beneficios para la salud [4,5]. Para obtener dichos extractos, la cáscara de limón se secó (40 °C, 48 h), molió y maceró en etanol:agua (70:30, v/v; 1:10 p/v) por 24 h, mientras que las hojas de *L. alba* se procesaron mediante infusión acuosa (1:20 p/v, 90 °C, 10–15 min), almacenándose ambos a 4 °C hasta su incorporación. La bebida se preparó en una base edulcorada con jarabe de panela (8–10 °Bx), adicionando cafeína en dosis de 240–320 mg/L (60–80 mg/250 mL) y extractos antioxidantes equivalentes a 100–300 mg/L de fenoles y flavonoides, rango considerado seguro y funcional. La mezcla se ajustó a un pH (3,2–3,5) con jugo de limón, se filtró y pasteurizó (85 °C, 30 s), para su posterior y envasado. A la formulación obtenida se le evaluaron pH, °Brix, contenido de cafeína y fenoles totales, y se avaluó su capacidad antioxidante.

La formulación preliminar se proyecta como una alternativa funcional que combina estimulación y beneficios para la salud en un solo producto. Asimismo, la propuesta busca impulsar nuevas formas de valorización y reutilización de residuos agroindustriales, generando valor agregado a materiales que usualmente se descartan, al tiempo que promueve la articulación con pequeños productores de la región del Cesar, fortaleciendo la sostenibilidad social y económica. Este desarrollo plantea una opción sostenible, innovadora y diferenciadora frente a las bebidas energéticas convencionales, generalmente asociadas a altos niveles de azúcar y aditivos artificiales.

Referencias

- [1] Benavides-Maya, L. S.; Torres-Perdomo, M. F.; Ocampo-Carmona, L. M.; Echeverry-Vargas, L. *Molecules* 2025, 1, 0.
- [2] Tello, J.; Viguera, M.; Calvo, L. *J. Supercrit. Fluids* 2011, 59, 53–60.
- [3] Macho Pisano, A. Universidad Pontificia Comillas 2023.
- [4] Tundis, R.; Loizzo, M. R.; Bonesi, M.; Menichini, F.; Mastellone, V.; Colica, C.; Menichini, F. *J. Food Sci.* 2012, 77, H40–H46.
- [5] Teixeira de Oliveira, G.; Siqueira Ferreira, J. M.; Lima, W. G.; Ferreira Alves, L.; Duarte-Almeida, J. M.; Alves Rodrigues Dos Santos Lima, L. *Nat. Prod. Res.* 2018, 32, 723–731

