

# Liderando un futuro resiliente y regenerativo

## Edición y compilación

Universidad Ean

Jeffrey León-Pulido, PhD

Universidad de Cartagena

Ángel Darío González Delgado, PhD

Sofía García Maza, IQ

Candelaria Tejada Tovar, MSc

Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá

Jairo Ernesto Perilla Perilla, PhD



Universidad  
de Cartagena  
Fundada en 1827



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE COLOMBIA



Consejo Profesional  
de Ingeniería Química de Colombia



Asociación Colombiana de Ingeniería Química  
y Profesionales Afines Capítulo Bogotá



World Chemical Engineering Council





Edición: Gerencia de Investigación y Transferencia  
Gerente de Investigación y Transferencia: Andrés Felipe Guarnizo Saavedra  
Lider de Publicaciones: Mónica Cabiativa Daza  
Diseño: Precolombi EU, David Reyes  
Diagramación: Ángela Viviana Díaz

Primera edición, 2026

Publicado por Ediciones Ean, 2026.  
ISBN: 978-958-756-742-7  
DOI: <https://doi.org/10.57793/9789587567427>

© Todos los derechos reservados.

© Universidad Ean, El Nogal: Calle 79 # 11-45  
Bogotá D.C., Colombia, Suramérica, 2025

Prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin autorización de la Universidad Ean.

Universidad Ean: SNIES 2812 | Personería Jurídica Res. n.º 2898 del Minjusticia - 16/05/69 | Vigilada Mineducación. CON ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL DE ALTA CALIDAD, Res. n.º 29499 del Mineducación 29/12/17, vigencia 28/12/21.

Producido en Colombia.

Libro de resúmenes

# Liderando un futuro resiliente y regenerativo

---

# Contenido

---

- 29 Comité Ejecutivo
- 30 Comité Asesor Internacional
- 31 Chair y Co-Chair
- 32 Comité Científico
- 34 Comité Logístico
- 34 Estudiantes de la Universidad San Buenaventura, sede Cartagena
- 34 Estudiantes de la Universidad San Buenaventura-Universidad Tecnológica de Bolívar
- 34 Estudiantes de la Universidad de Cartagena

## **35 Agradecimientos**

## **37 Introducción**

## **40 Ciencias de la ingeniería química**

- 41 Análisis de ciclo de vida (ACV) del proceso de isomerización de butano en refinería
- 42 Evaluación técnico-económica del proceso de isomerización de butano en refinerías

- 43 Análisis de seguridad de procesos: evaluación técnica de seguridad inherente descriptiva (NuDIST) en el proceso de isomerización de butano en refinería
- 44 Extracción y cuantificación del extracto de café verde rico en ácido clorogénico
- 46 Cálculo de múltiples estados estacionarios en procesos químicos utilizando métodos de continuación por homotopía, Aspen Plus y MATLAB
- 47 Desempeño de modelos en la simulación de la pervaporación de ácido acético y agua
- 49 Impacto del soporte poroso de una celda de permeación en la estimación de las propiedades intrínsecas de una membrana
- 51 Development of a Sustainable Hybrid Adsorbent of Biochar and ZIF 8 MOF: Loratadine Removal
- 52 Estudio de pigmento ecológico a base taninos naturales y calcio en imprimante anticorrosivo alquídico
- 53 Desarrollo de un método rápido de cuantificación de ácido clavulánico en cultivos sumergidos de *Streptomyces clavuligerus*

## 55

### Ingeniería de reacciones químicas y catálisis

- 56 Diseño de un reactor batch para la síntesis de biopelículas a partir de almidón de papa y plátano
- 57 Estudio cinético del ácido poli-L-láctico (PLLA) sintetizado a partir de la fermentación de papa nativa *Solanum tuberosum* ssp. andígena
- 60 Avances en la revalorización de efluentes de tintorería mediante la integración de fotocatalisis y biotecnología de cianobacterias
- 61 Integración de procesos biotecnológicos para la valoración de efluentes de curtiembre en la producción de biomasa microalgal de alto valor agregado

- 63 Influencia de las condiciones de operación en la oxidación parcial de metanol sobre catalizadores de Au-Fe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- 65 Caracterización y evaluación de catalizadores del tipo Zn-Mg/Al en la producción de BHET
- 67 Caracterización de carbón activado obtenido de bagazo de caña panelera para su aplicación en la adsorción de etileno
- 69 Optimización del diseño de los canales de flujo para mejorar la conversión de dióxido de carbono en un electrolizador tipo MEA
- 71 Esterificación del ácido láctico derivado de la fermentación de almidón de papa nativa para optimizar la producción de lactato de metilo en laboratorio

## 73

### Ingeniería de sistemas de procesos

- 74 Resiliencia económica del proceso de hidrocrqueo de gasóleos en una refinería latinoamericana
- 76 Evaluación técnica de un proceso de hidrocrqueo de gasóleos integrado en masa
- 78 Dinámica de los flujos de carbono de los aminoácidos precursores de C-5 en cultivos de *Streptomyces clavuligerus* durante la biosíntesis de ácido clavulánico
- 79 Correlación de parámetros de UNIFAC Dortmund para la predicción de equilibrios líquido-líquido en sistemas de producción de biodiésel
- 80 Evaluación tecnoeconómica de un proceso de extracción de aceite de *Cannabis sativa* L. mediante extracción con fluidos supercríticos
- 82 Diseño conceptual de la producción de polihidroxicanoatos a partir de vinaza utilizando *Cupriavidus necator*

- 83 Exploring PHB Production by a Genome-Scale Model of *C. necator*
- 85 Evaluación de un sistema de simulación tipo scale-down para el estudio de oscilaciones de oxígeno en cultivos de *Streptomyces*
- 86 Simulación de escenarios de biorrefinería de residuos de poscosecha e industrialización de la yuca para su aprovechamiento en producción de energía/subproductos
- 88 Inspección y evaluación técnica para el mantenimiento del sistema de pintura anticorrosiva en estructuras metálicas de puentes
- 89 Inactivación de esporas de *Aspergillus niger* en una emulsión lipídica farmacéutica modelo mediante pulsos de alta presión

## 91

### **Biotecnología, bioeconomía, bioindustria**

- 92 Producción de polihidroxicanoatos en cultivos sumergidos de *Cupriavidus necator* utilizando residuos del beneficio de café
- 93 Efecto de las condiciones controladas en la maduración del queso fresco y semiduro de Chumbibamba, Talavera-Andahuaylas
- 95 Productos de valor agregado a partir de los residuos agroindustriales del aguacate
- 96 Evaluación técnico-económica de una biorrefinería en cascada para el aprovechamiento de la semilla de aguacate Hass del Putumayo (Colombia)
- 97 Obtención y caracterización de películas bioplásticas biodegradables a partir del almidón de semilla de mango “Tommy Atkins”
- 99 Efecto de la borra de café (*Coffea arabica* L.) en las propiedades de biopelículas a base de almidón de maíz

- 100 Valorización de residuos alimentarios:  
desarrollo de un fertilizante hidrolizado para  
la recuperación de suelos degradados
- 101 Diseño conceptual de la recuperación de  
galactooligosacáridos (GOS) de hidrolizados  
enzimáticos por adsorción con carbón activado
- 103 Evaluación comparativa de la extracción de  
ácido giberélico a partir de residuos de cebolla  
en rama cultivada en Pereira (Colombia)
- 105 Aislamiento de levaduras de la cáscara  
de piña (Golden y Perolera) con uso  
potencial en una matriz cervecera
- 107 Obtención de extractos ricos en compuestos  
fenólicos de corteza de pino y de eucalipto  
mediante extracción con agua subcrítica
- 109 Producción de ácido láctico a partir de suero: efecto  
del pretratamiento enzimático y la fuente de nitrógeno
- 111 Evaluación del aprovechamiento de residuos de  
la industria de alimentos procesados como fuente  
de almidón para la producción de biopolímeros
- 113 Transformando residuos de coco en  
energía: innovaciones en biodigestión  
anaerobia para la sostenibilidad rural
- 114 Innovación para la adaptación climática:  
modelos para la generación de resultados de  
mitigación internacionalmente transferibles
- 116 Extracción asistida por ultrasonido de biocompuestos  
del aceite de palma alto oleico utilizando bioetanol
- 117 Uso integral del fruto del corozo (*Bactris*  
*guineensis*) como materia prima en biorrefinerías
- 119 Modelo de doble diamante aplicado a la bioeconomía  
como alternativa de diversificación productiva  
y agregación de valor en el Alto Putumayo
- 120 Bioeconomía y alimentación saludable: transición  
a la economía circular en mipymes colombianas

- 122 Diseño de una planta de producción de biodiésel usando aceite de palma como materia prima
- 123 Aprovechamiento del cáñamo residual de cultivos de cannabis medicinal para la obtención de nanocelulosa y lignina
- 125 Exploring Volatile Fatty Acids Production by Acidogenic Fermentation of Cassava Processing Wastewater: a Kinetic Modeling
- 127 Efecto del uso de la acetona como cosolvente en la viabilidad financiera de la producción de biocrudo por licuefacción hidrotérmica de CO<sub>2</sub> capturado en el cultivo de microalgas
- 129 Hidromiel: una oportunidad para la apicultura en Panamá y en los Montes de María (Colombia)
- 131 Caracterización fisicoquímica y sensorial de mieles de los Montes de María (Colombia): un camino hacia la diferenciación y el valor agregado
- 134 Producción de oligosacáridos mediante autohidrólisis de cáscara de cacao
- 135 Análisis del rendimiento en la producción de ácido poliláctico a partir de cáscaras de yuca mediante fermentación en estado sólido y líquido con bacterias ácido-lácticas de kéfir
- 137 Obtención y caracterización del almidón proveniente de la semilla de aguacate Hass para su posible uso en bioplásticos
- 139 Aislamiento e identificación de bacterias endosimbiontes hidrocarbonoclastas y promotoras del crecimiento vegetal en *Eisenia fetida*
- 141 Fitorremediación de efluentes de plantas extractoras de aceite de palma utilizando *Coelastrella* sp. como un proceso ecoamigable
- 142 Modelamiento y simulación del proceso de producción de azúcares fermentables a partir del bagazo de malta
- 144 Aplicación del concepto de biorrefinería para el aprovechamiento de cáñamo en Colombia

- 146 Extracción de compuestos fenólicos y evaluación de la capacidad antioxidante de la cáscara del cacao: potencial para la revalorización de residuos agroindustriales
- 148 Implementación de un sistema de detección de hidrógeno de bajo costo durante la codigestión de RAC/vinaza
- 149 Enzymatic Production of MLM Triglycerides to Obtain Low Calorie Oil from Avocado Pulp (*Persea americana* Hass) from the East of Antioquia
- 151 Comparación técnica de metodologías para la obtención de ácido láctico a partir de la fermentación bacteriana de semillas de aguacate Hass y antillano criollo
- 152 Perspectivas y desafíos en la fermentación de biomasa residual para la obtención de ácido láctico
- 154 Nanoencapsulación de insulina para administración oral como innovación terapéutica de la diabetes mellitus tipo 1
- 155 Producción de biohidrógeno a partir de lactosuero por fermentación oscura
- 157 Deep Learning-Enhanced Coarse-Graining of DNA for Scalable Molecular Simulations
- 158 Producción de etanol mediante el aprovechamiento de los productos del beneficiado húmedo del café
- 160 Efecto del tratamiento térmico sobre la solubilización de la cascarilla de café: análisis de severidad y obtención de compuestos
- 161 Producción de biogás a partir de estiércol de cerdo en un sistema piloto semicontinuo para escalado en plantas rurales: un balance entre rendimiento y estabilidad del proceso
- 163 Producción de bioetanol a partir de residuos agroindustriales colombianos mediante sacarificación y fermentación simultánea

- 164 Extracción y caracterización de compuestos bioactivos de borra de café utilizando la tecnología de extracción en frío
- 166 Valorization of Cocoa Pod Husk from the Quindío: A Multifunctional Approach for Sustainable Bioproduct Development
- 168 Solubility of Carotenoids in Supercritical Fluids – Review of Experimental Data and ECM Equation-of-State Modeling Approach
- 169 Ciencia, industria y colaboración nacional como ejes de innovación en productos funcionales

## 171

### Ingeniería de alimentos

- 172 Hydrogenation, Mixtures and Interesterification of Palm Oil (*Elaeis guineensis*)
- 173 Preparación de margarinas con aceite de palma con baja concentración de ácidos grasos trans
- 174 Rheological Properties of Dairy and Plant Proteins for Innovative Food Applications
- 175 Diseño de un producto alimentario a partir de lactosuero proveniente del Departamento de Nariño
- 177 Evaluación de la cadena productiva para el aprovechamiento de los residuos sólidos del eje de inflorescencia de la piña (*Ananas comosus*)
- 178 Cinética de la producción de galactooligosacáridos (GOS) con dos  $\beta$ -galactosidasas: efecto del ion metálico y modelo matemático
- 179 Curcumin as an Antioxidant Additive to Reduce Lipid Oxidation in Mozzarella Cheese
- 180 El mucílago de chíá como alternativa a gomas espesantes comerciales: evaluación exploratoria
- 182 El mucílago de linaza como potencial sustituto de gomas espesantes comerciales: estudio exploratorio

- 183 Protein Production from Insects for Human Consumption: A Systematic Review of the State of the Art
- 185 Desarrollo de galletas a partir de harina de ñame espino variedad alemán modificado químicamente
- 186 Estabilidad de la mora en polvo biofortificada con probióticos durante el almacenamiento a 5 °C
- 187 Biosíntesis de lípidos estructurados con ácidos grasos de cadena media en un aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*)
- 189 Evaluación del efecto prebiótico de xilooligosacáridos obtenidos de un subproducto de eucalipto en un modelo in vitro e in vivo
- 190 Aplicación de oleorresina de jengibre obtenida por fluidos supercríticos en chocolate al 70% cacao criollo fino de aroma
- 192 Aplicación de redes neuronales para el modelamiento y predicción de propiedades tecnofuncionales de ingredientes naturales obtenidos a partir del mango
- 194 Evaluación de modelos reológicos en las propiedades de flujo viscoso de un helado a base de yuca (*Manihot esculenta*)
- 195 Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades fisicoquímicas de la pulpa de ahuyama (*Cucurbita maxima*)
- 196 Estudio de la goma de mezquite en la formación y estabilidad de espumas líquidas
- 197 Simulador gástrico distal para el análisis de desintegración química de alimentos sólidos
- 198 Caracterización nutrimental y evaluación de la actividad antioxidante en un totopo de maíz tradicional de México: implicaciones para la ingeniería de alimentos funcionales

- 201 Valorización de residuos agroindustriales mediante pretratamientos químicos para la producción sostenible de bioetanol
- 203 Green Hydrogen Production: Analysis of Innovations and Pathways to Sustainability
- 204 Etanolisis supercrítica de aceite vegetal para la formación de mezclas homogéneas de biocombustible
- 205 Biogás como oportunidad energética en una zona rural de Santander
- 206 Simulación de un intercambiador de calor de fondo de pozo para el aprovechamiento de la energía geotérmica empleando dinámica de fluidos computacional
- 208 Supercapacitores para una transición energética sostenible
- 209 Impacto de la normativa ambiental peruana (reducción de contenido azufre) en la complejidad y margen de refinerías peruanas
- 211 Producción de hidrógeno a partir de la fibra de las extractoras de aceite de palma en Colombia: un estudio de caso en Sabana de Torres utilizando Aspen Plus
- 213 Evaluación reológica de crudos pesados colombianos bajo la influencia de campos eléctricos externos
- 214 Producción de aditivos verdes mediante transesterificación supercrítica de aceite de palma y etanol
- 215 Implementation of Green Hydrogen Pilot Plants for Industrial and Residential Applications at the University of Cantabria, Spain
- 217 Evaluación de escenarios de factibilidad técnico-financiera para autogeneración en centros de cremación

- 219 Data-Driven PV Solar Production Forecasting Using Machine Learning Algorithms
- 220 Caracterización electroquímica y evaluación del desempeño de una pila comercial de celdas de combustible tipo PEM
- 222 Integración de tecnologías para suministrar calor y electricidad en zonas de alta montaña
- 224 Producción de biogás a partir de excretas porcinas en un digestor anaerobio para producción de energía en zonas rurales de Bolívar
- 225 Aprovechamiento de neumáticos para la obtención de materiales carbonosos y su evaluación en la degradación del colorante Azul 21
- 226 Biorrefinería de Ipomoea batatas: obtención de bioetanol de segunda generación
- 227 Biorrefinería de semilla de Persea americana: obtención de bioetanol de segunda generación

## 229 **Materiales y nanotecnología**

- 230 Síntesis y evaluación de membrana compuesta de PVDF/nanocelulosa para la remoción de mercurio en aguas contaminadas del canal del Dique
- 231 Síntesis y evaluación de membrana compuesta de PVDF/nanocelulosa para la remoción de cadmio en aguas contaminadas
- 233 Desarrollo y caracterización de películas biodegradables a partir de almidón de yuca amarga, gelatina y celulosa, funcionalizadas con extracto vegetales
- 234 Identificación de almidones nativos para el desarrollo de empaques biodegradables en la industria de los alimentos
- 236 Síntesis de películas biodegradables utilizando PHB, almidón de Manihot esculenta Crantz y celulosa de Cocos nucifera L.

- 237 Desarrollo de películas biodegradables a partir de PLA, almidón de *Solanum tuberosum* L. y nanocelulosa de *Zea mays* L.
- 239 Evaluación de la resistencia a la corrosión del aluminio AA6063 anodizado usando ácido sulfúrico con adiciones de ácido cítrico
- 240 Modificación química de almidones de la región caribe colombiana y su potencial uso como agente emulsificante en la industria cosmética
- 242 Desarrollo de un material polimérico con AgNP obtenidas mediante plantas del Caribe colombiano para el tratamiento de aguas almacenadas
- 244 Evaluación de los parámetros de proceso en la síntesis de nanopartículas de policaprolactona por el método de nanoprecipitación
- 246 Nanopartículas poliméricas decoradas con quitosano fragmentado como sistemas de modulación de la captación neuronal de fármacos
- 247 Bio-BaseGd Non-Isocyanate Polyhydroxyurethanes from Soybean Oil for Biomedical Applications Such as Wound Dressings
- 249 Obtención de películas con capacidad antibacteriana de poliuretano a partir de aceite de higuera modificada y extractos bacterianos de *Streptomyces* sp.
- 251 Nanodendritas de Ag sobre nanohilos de hidrocincita para detección SERS de rodamina 6G y azul de metileno
- 253 Evaluación del comportamiento reológico de emulsiones magnéticas bajo campos magnéticos rotativos
- 254 Evaluación del efecto de la adición de plastificantes (PEG o PVA) en ácido poliláctico (PLA) para obtención de filamentos de impresión 3D

- 256 Síntesis y caracterización teórico-experimental de un nuevo complejo de coordinación Ni(II) con actividad antibacteriana
- 258 Evaluación de un sustrato SERS basado en nanoestrellas de plata depositadas sobre nanohilos de óxido de zinc
- 259 Síntesis de nanoporos y nanohilos de alúmina anódica para sustratos SERS
- 261 Síntesis de ácido poliláctico a partir de almidón de cáscara de papa: una alternativa sostenible a los polímeros convencionales
- 263 Depósito de nanoestrellas de plata sobre nanohilos de óxido de cobre(II) para detección SERS de colorantes orgánicos persistentes
- 265 Antiviral and Antibacterial Film based on Quaternized Cassava Starch and Reinforced Crystalline Nanocellulose
- 267 Desarrollo de nanopartículas biopoliméricas de a-mangostina con modificación superficial como posible tratamiento en el cáncer de mama
- 269 Desarrollo y evaluación de nanoacarreadores cargados con nilotinib para padecimientos neurodegenerativos
- 271 Hidrogeles inyectables y autorreparables con posible aplicación en el tratamiento de heridas crónicas
- 272 Evaluación in vivo del efecto terapéutico de las micropartículas cargadas con insulina en un modelo experimental de rata Wistar
- 274 Desarrollo de un biopolímero a partir de almidón de ñame en combinación con ceras cuticulares del cáliz de uchuva y cristales de celulosa, con potencial uso en ingeniería de tejidos
- 275 Obtención de nanopartículas de celulosa a partir del mesocarpio de la cáscara de coco para el desarrollo de biopelículas

- 277 PVD Deposition of Carbon-Doped TiAlTaZrNb High Entropy Coatings for Corrosion Protection of H13 Steel
- 278 Desarrollo y caracterización de una microemulsión tópica de atorvastatina para la optimización de la cicatrización de heridas
- 280 Preparation of TiO<sub>2</sub>-CuO Nanoparticles for the Photodegradation of Metformin using a Fluidized Bed Annular Photoreactor (FBAP)
- 282 Rheological Properties of Xanthan Gum, Guar Gum, Cellulose Gum and its Blends with Synergistic Behavior
- 283 From Powders to Solutions: Understanding Hydrocolloid Dissolution Kinetics through Rheology
- 285 Functional Polyelectrolyte Films Based on Sodium Alginate and Kraft Lignin Modified with Quaternary Ammonium Compound
- 286 Fotodegradación de metformina usando nanopartículas de TiO<sub>2</sub>-CuO<sub>2</sub> soportadas en una malla de polímero ABS
- 287 Desarrollo de filtros con propiedades antimicrobiales a partir estructuras poliméricas modificadas con nanopartículas lignocelulósicas para la clarificación de hidromiel
- 289 Desarrollo de filtros de quitosano y PLA reforzados con nanopartículas de celulosa a partir de residuos de *Cymbopogon citratus*
- 290 Obtención de nanopartículas de alúmina aplicando metodología de química verde
- 291 Electro spraying de proteína de suero de leche: obteniendo un material para remover metales pesados del agua
- 293 Modificación del polímero PLA con propiedades antimicrobianas mediante la incorporación nanocristales de celulosa

- 294 Análisis de la eficiencia y selectividad de nanocristales de celulosa del cacao en la remoción de contaminantes orgánicos en agua
- 296 Evaluación de la modificación superficial del polímero PLA con nanopartículas de óxido de zinc para la determinación de sus propiedades fisicoquímicas y antibacterianas
- 297 Obtención de nanopartículas de lignina a partir de semilla de aguacate Hass para uso en la obtención de bioplásticos
- 299 Desarrollo de un aditivo poliglicerol-éster para mezclas asfálticas tibias
- 300 Adsorción de cadmio en un sistema continuo usando biochar obtenido a partir de la semilla de aguacate (*Persea americana*)
- 302 Desarrollo de biocompositos micelio-fibra de agave como alternativa de biomateriales sostenibles
- 304 Innovación en materiales: polímeros a partir de biopelículas de almidón y residuos naturales
- 305 Optimization of Properties of Plantain Starch Films Enriched with Avocado Flour for Flexible and Rigid Packaging
- 307 Preparación de membrana hidrofóbica de quitosano/polivinilacetato modificada con lignina y nanopartículas de óxido de zinc en la separación de aceite y agua
- 309 Preparación de vendaje compuesto de quitosano/alcohol polivinílico/lignina de almendro tropical (*Terminalia catappa*) y áloe para la cicatrización de heridas
- 311 Preparación de películas basadas en quitosano/hidropropilmetilcelulosa (HPMC)/lignina y nanopartículas de óxido de zinc para recubrimientos alimenticios

- 313 Hidrogeles biobasados a partir de sericina:  
alternativa para aplicaciones en agricultura urbana
- 315 Análisis comparativo de rutas de síntesis  
en óxidos de vanadio, un enfoque entre  
química convencional y química verde
- 317 Caracterización de celulosa bacteriana obtenida  
mediante extracción y purificación de kombucha
- 318 Producción de hidrocarbón a partir de cuesco  
de palma como mejorador de suelo salino  
del departamento del Cesar (Colombia)
- 320 Síntesis de hidrotalcitas 3R y 2H en carbón activado  
y su aplicación en la remoción de contaminantes
- 322 Obtención de un material compuesto a partir de  
fibra de fique (*Furcraea andina*) obtenida en el  
municipio de El Tambo y matrices poliméricas  
del departamento de Nariño (Colombia)
- 324 Fabricación de cubiertos aglomerados  
a partir del núcleo leñoso de la planta  
cáñamo industrial (*Cannabis sativa* L.)
- 325 Noble-Metal-Free Nanomaterials: Synthesis,  
Characterization, and Applications as  
Electrocatalysts for Environmental Remediation
- 327 Valorización integral del grafito residual de  
baterías de ion-litio desechadas para la obtención  
de materiales carbonosos tipo grafeno
- 328 Pt Nanoparticles Decorated CdS with  
Improved Photocatalytic Performance
- 330 Estimating the Physical Properties of  
Components at High Pressures Generated by  
Nanobubbles in Liquid Hydrocarbon Fuels
- 332 Sustainable Electro-Reduction of NO<sub>x</sub> Emissions:  
Synthesis and Application of bimetallic Nanomaterials
- 334 Reingeniería química en industria de los materiales  
cerámicos marco estratégico/ecológico siglo XXI

**336****Industrias de procesos, nuevos procesos innovadores, intensificación de procesos**

- 337 Análisis del proceso de pirólisis de policloruro de vinilo (PVC) mediante simulación en estado estacionario
- 338 Análisis del proceso de recuperación de propileno y 1-buteno en la producción de homopolímeros y terpolímeros
- 340 Intensificación de procesos en mipymes colombianas: innovación en economía circular para la ciclabilidad de materiales plásticos
- 341 Análisis y mejora del desempeño de un sistema de refrigeración industrial: simulación y evaluación de estrategias de optimización
- 343 Factibilidad económica del acople de los mecanismos de dilución y calentamiento para mejorar el transporte de crudos pesados en líneas de tuberías
- 344 Assessment of Betaine-based Deep Eutectic Solvents in the Delignification Process of Eucalyptus Wood Chips
- 346 Evaluación técnica, económica y ambiental en el proceso de extracción de los compuestos bioactivos en los residuos del procesamiento de la lúcuma
- 348 Escalado del proceso de purificación de la vacuna antirrábica humana mediante cromatografía líquida preparativa
- 350 Evaluación del desempeño de una columna de destilación reactiva empaquetada para purificar ácido láctico mediante hidrólisis de lactato de metilo
- 352 Producción de azúcares fermentables, celulosa y lignina a partir del RAC de caña de azúcar mediante tratamiento subcrítico con agua/etanol
- 354 Simulación de HPGR usando el método de los elementos discretos y el balance poblacional

## 355 **Industria 4.0-fábrica inteligente-*big* data-inteligencia artificial-CAD**

- 356 Herramienta soportada en inteligencia artificial para la formulación de materiales comestibles a base de hoja de coca
- 357 Desarrollo de desodorantes a partir de química verde e inteligencia artificial
- 359 Desarrollo y validación de un gemelo digital para la simulación de un sistema de evaporadores
- 361 Identificación de oxidorreductasas a partir de transcriptomas vegetales para la síntesis sostenible de fármacos mediante aprendizaje automático
- 363 Aplicaciones de inteligencia artificial en cadenas de suministro sostenibles: un enfoque bibliométrico en la industria de procesos
- 365 Diagnóstico de fallos del proceso Tennessee-Eastman por medio de redes bayesianas

## 367 **Educación en ingeniería química y ética**

- 368 Enfoque interdisciplinario educación ambiental y gestión de residuos sólidos: análisis desde la ingeniería química, derecho ambiental y sistemas de información
- 369 Observatorio de Diversidades en la Ingeniería Química Colombiana
- 371 Inteligencia Artificial Generativa (IAgen) y Realidad Aumentada (RA) para la enseñanza de Operaciones Unitarias en Ingeniería Química
- 373 Integración de un gemelo digital como herramienta pedagógica en las prácticas de los laboratorios de ingeniería química
- 375 Rediseño del plan de estudios de la carrera de Ingeniería Química a partir del Análisis situacional de Honduras

- 377 Producción de bioenergía sostenible en Eco-comunidades urbanas: un enfoque participativo y formativo
- 378 Más allá de la optimización en intercambiadores de calor de carcasa y tubos
- 379 Impacto de los grupos estudiantiles en la formación integral de los ingenieros químicos
- 382 Hidromiel de Montes de María: Aprendizaje y Proyección Social a través de la Estequiometría
- 384 Diseño de una experiencia de aprendizaje teórico-práctica de energía fotovoltaica
- 385 Innovación en biomateriales sustentables para un mundo mejor: un enfoque multidisciplinario
- 387 Espacios de Aceleramiento para Reducir la Brecha de Género en la Rama Científica de Costa Rica: Caso “Global Women’s Breakfast”
- 388 Sinergia entre Semilleros de Investigación y los Ejes Misionales de Extensión y Docencia de la Universidad: Caso de Estudio

## 391

### Control y seguridad de procesos

- 392 Estudio de seguridad inherente en un proceso integrado energética y másicamente de producción de PVC con reciclaje directo
- 394 Análisis de seguridad inherente del proceso de producción de PVC integrado energética y másicamente con regeneración
- 396 Historical Analysis of Accidents in the American Industry
- 397 Análisis de una estrategia de control feedback para un reactor de metanación mediante simulación con Aspen HYSYS
- 398 Inherent safety analysis of a cascade biorefinery for the utilization of avocado hard waste from the south colombian region

- 400 Estudio Predictivo del Límite Inferior y Superior de Inflamabilidad (LFL y UFL) en Mezclas Cosméticas Convencionales
- 401 Revisión de casos de aplicación de las técnicas bow tie, hazop y hazid para análisis de incidentes asociados a la operación de plataformas marinas para extracción de gas y petróleo
- 402 Real-Time Sulfide Monitoring in Sulfidogenic Bioreactors Using Microfluidic Technology
- 404 Diseño de un Sistema de Control Óptimo Automático para la Eliminación de  $H_2S$  en Procesos de Generación Hidroeléctrica

## 407 Sostenibilidad y medio ambiente

- 408 Evaluación de la actividad enzimática de la bromelina obtenida a partir de la cáscara de Ananas comosus en dos variedades (oro miel y cayetana lisa)
- 410 Implementación del método WEP para el análisis técnico de un proceso de producción de policloruro de vinilo con reciclaje directo integrado energética y másicamente
- 412 Análisis técnico WEP de la integración másica con regeneración de un proceso de producción de policloruro de vinilo
- 414 Un enfoque conjunto de análisis de exergía y resiliencia exergética para la evaluación de un proceso de producción de PVC integrado en masa y energía
- 415 Tratamiento de vinazas de etanol de caña de azúcar: efecto de la cavitación hidrodinámica en la remoción de color y polifenoles
- 417 Uso de biocarbón de cascarilla de arroz para la remoción de tetraciclina en agua: análisis cinético e isotérmico
- 419 Comunidades y transiciones justas

- 420 Proceso de biorrefinería basada en hidrólisis en agua subcrítica fraccionada de residuos de corte de caña y análisis de ciclo de vida comparativo
- 422 Evaluation of the Sustainability of Cowpea Bean Production in the Colombian North Coast Using Emergy Synthesis
- 423 Estudio de la transesterificación de aceite de cocina usado empleando butanol y alcohol isoamílico
- 425 Identificación de microplásticos en sal común proveniente de salinas ubicadas en la costa del Pacífico de Guatemala
- 427 Modelación de calidad del agua como soporte a la toma de decisiones ambientales
- 428 Optimization of the Ozonation Process for the Removal of Antibiotics from Water
- 430 Remoción de azitromicina, cefalexina y doxiciclina empleando tecnologías avanzadas de oxidación basadas en ozono
- 432 Impacto de microcontaminantes emergentes en la calidad de cuerpos de Cúcuta: retos para la calidad del agua y la salud pública
- 433 Evaluación de empaques biodegradables a partir de fibras naturales con barrera hidrofóbica para aplicaciones alimenticias
- 435 Rutas eficientes de purificación de polihidroxialcanoatos desde cultivos mixtos en lodos de agua residual
- 437 Análisis del ciclo de vida de la producción de polihidroxialcanoato a partir de cultivos mixtos seleccionados y lodos de PTAR
- 439 Potencial aplicación de residuos provenientes de la industria minera en la fotooxidación de antibióticos presentes en agua
- 440 Análisis cinético de metano y propiedades fisicoquímicas de bioles generados por biodigestión anaeróbica de excretas en biodigestores de membrana

- 442 LIFE INDESAL: Pioneering a Circular Approach to Seawater Desalination
- 443 Development and Evaluation of Starch-based Compositated Active Sheets for the Preservation and Packaging of Blueberry (*Vaccinium corymbosum*) Fresh Fruits
- 445 Development of Compounded PBAT/PLA Semi-Rigid Trays as a Sustainable Alternative for Food Packaging
- 446 Capacidad adsorbente de la biomasa de la alga roja (*Gracilaria* sp.): análisis cinético, de equilibrio y termodinámico
- 447 Evaluación del uso de ozono en la remediación de aguas residuales hospitalarias
- 449 Desafíos en la gestión de los residuos de cacao: explorando el potencial del mucílago como recurso sostenible en Colombia
- 450 Tecnologías de recuperación de nutrientes en aguas residuales periurbanas
- 452 Obtención de biocarbón a partir de residuos de cannabis con aplicaciones energéticas y adsorbentes
- 453 Propuesta agroecológica para la recuperación de suelos contaminados con petróleo crudo empleando la asociación de *Opuntia* spp.-*Azospirillum* spp.
- 455 Implementación de una planta de compost por bioaumentación en la Universidad de San Buenaventura de Cartagena
- 456 Simulación, integración y evaluación técnica, económica, ambiental y de sostenibilidad de la extracción de astaxantina mediante hidrólisis enzimática
- 458 Análisis económico, ambiental y de sostenibilidad del proceso integrado de extracción de astaxantina a partir de exoesqueletos de camarón
- 460 Análisis de ciclo de vida de la agrocadena del café: estudio de caso de Green Coffee Company (GCC)

- 461 Estudio de la fermentación de materias primas secundarias para la obtención de alcohol aplicando economía circular
- 463 Técnica Shibori con tinte azul índigo como alternativa sostenible a tintes sintéticos contaminantes: un enfoque de química verde
- 464 Colaboración y capacitación en el aprovechamiento de especies vegetales nativas de la asociación shuar Mura Nunka
- 466 Uso de fibras de residuos de seudotallo como material de refuerzo en la fabricación de hojas de mano
- 467 Análisis energético y ambiental de un proceso de reciclaje del poliestireno expandido
- 468 Recuperación de metales de cátodos de baterías de ion-litio gastadas mediante lixiviación con ultrasonido focalizado
- 470 Pastilla biofertilizante a base de estiércol vacuno con aditivos orgánicos para uso en hidropónicos
- 472 Circular Economy in Hydroelectric Reservoirs of Ecuador: Sediment Characterization and Valorization
- 474 Estimación de pérdidas evaporativas de gasolina en tanques de almacenamiento de una estación de servicio
- 475 Iniciativas de economía circular en la construcción urbana: desarrollo de nuevos materiales biobasados
- 477 Filtro de celulosa a partir de vástago de plátano para el tratamiento de aguas contaminadas por colorantes
- 478 Biomasa residual del sector avícola y porcícola en el Atlántico: análisis ambiental y oportunidades bioenergéticas
- 480 Digestión anaerobia aplicada a residuos urbanos: estudio de caso y estimación del rendimiento energético en Malambo (Colombia)
- 482 Estrategias para el uso de cenizas provenientes de calderas alimentadas por biomasa vegetal: un análisis de economía circular

## 484 **Negocios y gestión de proyectos**

- 485 Estrategias clave para una planeación de proyectos exitosa en química e ingeniería química
- 486 Estudio bibliométrico para la innovación en desodorantes naturales
- 487 Gestión de la utilidad usando el conjunto estrategia y manejo de personas

## 489 **Tratamiento de aguas**

- 490 Desalinización de agua y recolección de aguas lluvias para suministro de agua potable: caso estudio en el Departamento de Bolívar
- 491 Síntesis de biocoagulantes a partir de escamas y esqueletos de pescados (*Oreochromis niloticus* y *Prochilodus magdalenae*)
- 492 Valorización de residuos pesqueros con la extracción de colágeno tipo I para su aplicación en remoción de turbidez en aguas
- 493 Simulación de desalinización de agua de subterránea empleando ósmosis inversa
- 495 Analyzing Hydrogen Sulfide ( $H_2S$ ) Production in the Sewer System of Cartagena de Indias – Colombia: A Diagnostic Approach to Odor Management
- 496 Impact of Pt Impregnation on P25 for Visible Light Photocatalytic Applications
- 498 Elaboración de un sorbente utilizando residuos de cidra para la remediación de plomo en aguas contaminadas

## 500 **Análisis de tendencias en ingeniería química**

- 501 Estudio termoquímico de componentes cosméticos verdes utilizando Aspen Plus

- 502 Transformación de la ingeniería química: la economía circular como herramienta en mipymes colombianas
- 503 Desarrollo de un marcador molecular para trazar una gasolina comercial

## **505 IQuyca 3.0**

- 505 IQuyca: plataforma pionera de estímulo al emprendimiento en ingeniería química
- 506 Una plataforma con propósito
- 506 Estructura y filosofía: el camino de la innovación
- 507 Valor agregado: una experiencia de crecimiento
- 507 Impacto y legado para la ingeniería química colombiana
- 508 Iteración IQuyca 3.0
- 509 Merak Beersshake. Cerveza artesanal y malteadas de frutas
- 511 Evaluación y premiación

## **512 Conclusiones de las memorias**

## COMITÉS

Agradecimiento especial a los líderes y miembros de los comités.

### Comité Ejecutivo

- Jeffrey León-Pulido, presidente del Congreso; presidente IACChE Confederación Interamericana de Ingenieros Químicos, Colombia. Director IQUYCA V3.0.
- Jairo Ernesto Perilla Perilla, presidente del Congreso, presidente de la Asociación Colombiana de Ingenieros Químicos (ACIQ) y presidente de la ACIQ, capítulo Bogotá, Colombia.
- Víctor Ramírez, vicepresidente de la IACChE Confederación Interamericana de Ingenieros Químicos, Perú.
- Daniela Sotello González, directora ejecutiva del Comité de la Industria Química, Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI), Colombia.
- Oscar Pagola, expresidente de la IACChE/CIIQ Confederación Interamericana de Ingenieros Químicos, Argentina.
- Candelaria Tejada Tovar, directora académica del XXXI Congreso Interamericano de Ingenieros Químicos y XXXIII Congreso Colombiano de Ingenieros Químicos, Colombia.
- Ángel Darío González Delgado, director científico del XXXI Congreso Interamericano de Ingenieros Químicos y del XXXIII Congreso Colombiano de Ingenieros Químicos, Colombia.
- Sofía García Maza, secretaria científica del XXXI Congreso Interamericano de Ingenieros Químicos y XXXIII Congreso Colombiano de Ingenieros Químicos, Colombia.

- Luis Calderón, Colegio Profesional de Ingenieros Químicos de Pichincha, Ecuador.
- Mary Judith Arias Tapia, directora de Relacionamento Internacional y Redes de Investigación del XXXI Congreso Interamericano de Ingeniería Química.
- Pedro Javier Mesa, director de Relacionamento Industrial-Universidad San Buenaventura, Cartagena, y del XXXI Congreso Interamericano de Ingeniería Química.
- Asbleidis Karen Fernández Mejía, coordinadora IQUYCA V3.0.

## Comité Asesor Internacional

- L. Antonio Estévez, secretario general de la IACChE/CIIQ Confederación Interamericana de Ingenieros Químicos, Puerto Rico.
- Óscar Pagola, expresidente de la IACChE/CIIQ Confederación Interamericana de Ingenieros Químicos, Argentina.
- Galo Le Roux, presidente director de la Asociación Brasileña de Ingeniería Química (ABEQ)-Escola Politécnica USP, Brasil.
- Zhuzhell Rejas V., Colegio de Ingenieros Químicos de Bolivia (CIQB), Bolivia.
- Carlos Negro, CIBIQ Chair, Departamento de Ingeniería Química y de Materiales de la UCM, España.
- Víctor Ramírez, expresidente de la IACChE/CIIQ Confederación Interamericana de Ingenieros Químicos, Perú.
- Jules Thibault, ex presidente de la IACChE/CIIQ Confederación Interamericana de Ingenieros Químicos, Canadá.
- Gohua Chen, presidente de WCEC-Consejo Mundial de Ingeniería Química HKIE, Hong Kong, China.

- David Martínez, Consejo Profesional de Ingeniería Química (CPIQ), Colombia.
- Marcos Fernández, tesorero de la IACChE/CIIQ Confederación Interamericana de Ingenieros Químicos, Uruguay.
- Viktor Cárdenas, Universidade Federal de Sao Paulo (UNIFESP), Brasil.
- Rodrigo Rezende, Unversidade de Araracuara, Brasil.
- Miguel Padilla, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras.
- Irma Salgado. Tecnológico de Monterey, México.

## Chair y Co-Chair

- Paola Andrea Acevedo Pabón (líder del área temática: Negocios y Gestión de Proyectos).
- Débora Alcida Nabarlatz (líder del área temática: Industrias de Procesos, Nuevos Procesos Innovadores, Intensificación de Procesos).
- Nancy Elizabeth Alva Ahón (colíder del área temática: Negocios y Gestión de Proyectos).
- Aníbal Alviz Meza (colíder del área temática: Educación en Ingeniería Química y Ética).
- Hamilton Carrillo Meriño (moderador de las áreas temáticas: Energía Renovable y No Renovable, y Materiales y Nanotecnología).
- Lina María Chacón Rivera (moderadora de las áreas temáticas: Ciencias de la Ingeniería Química e Ingeniería de Reacciones Químicas y Catálisis).
- Carlos Andrés Cruz (moderador de las áreas temáticas: Educación en Ingeniería Química y Ética, y Control y Seguridad de Procesos).

- David Andrés Gómez Ríos (colíder del área temática: Ingeniería de Sistemas de Procesos).
- Andrés Fernando González Barrios (líder del área temática: Industria 4.0-Fábrica Inteligente- Big Data-IA-CAD).
- Adriana Herrera Barros (líder del área temática: Materiales y Nanotecnología).
- Leonardo de Jesús Herrera (líder del área temática: Educación en Ingeniería Química y Ética).
- Neila Milena Mantilla (líder del área temática: Sostenibilidad y Medio Ambiente).
- José Alejandro Martínez (líder del área temática: Análisis de Tendencias en Ingeniería Química).
- Juliana Puello Méndez (líder del área temática: Ingeniería de Sistemas de Procesos).
- Luis Humberto Reyes (líder del área temática: Ingeniería de Alimentos).
- Irma Salgado Escobar (colíder del área temática: Sostenibilidad y Medio Ambiente).
- Johanna Karina Solano Meza (líder del área temática: Biotecnología, Bioeconomía, Bioindustria).
- Ronald Tejada Tovar (colíder del área temática: Ingeniería de Alimentos).
- Néstor Andrés Urbina Suárez (líder del área temática: Tratamiento de Aguas).

## Comité Científico

- Juan Sebastián Guerrero Pérez, Universidad del Valle, Colombia.
- Nilson de Jesús Marriaga Cabrales, Universidad del Valle, Colombia.

- Carlos Jesús Muvdi Nova, Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- Débora Alcida Nabarlatz, Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- Carlos Jiménez Junca, Universidad de La Sabana, Colombia.
- Arturo González Quiroga, Universidad del Norte, Colombia.
- Leonardo de Jesús Herrera, Universidad de La Salle, Colombia.
- Ángela María Otálvaro Álvarez, Universidad de La Salle, Colombia.
- Alejandro Molina Ochoa, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Colombia.
- Adriana Herrera Barros, Universidad de Cartagena, Colombia.
- Jacqueline Corredor Acuña, Universidad de Pamplona, Colombia.
- Mayerlenis Jiménez Rojas, Universidad de Antioquia, Colombia.
- Melvin Durán Rincón, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- José Alejandro Martínez Sepúlveda, Universidad Ean, Colombia.
- Paola Andrea Acevedo Pabón, Universidad Ean, Colombia.
- Juliana Puello Méndez, Universidad San Buenaventura, sede Cartagena, Colombia.
- Nubia Yineth Piñeros Castro, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Colombia.
- Andrés Fernando González Barrios, Universidad de los Andes, Colombia.

## **Comité Logístico**

### **Estudiantes de la Universidad San Buenaventura, sede Cartagena**

- Santiago de Jesús Baena Rubio
- David Jesús Matos de Ávila
- Natalia Patricia Alzamora Fernández
- Valentina Tamara Pérez

### **Estudiantes de la Universidad San Buenaventura-Universidad Tecnológica de Bolívar**

- Juliana Marcela Barrios Perneth
- Daniela de Los Ángeles García Severiche
- Nicolle Simancas Morales
- Joydi Alejandra Contreras Morales
- Andrés Camilo Buelvas Madariaga

### **Estudiantes de la Universidad de Cartagena**

- Lina Luz Mejía González
- Zoila Cristina Ochoa Peralta
- Nicole Andrea Yances Güette
- Juan Manuel Alcalá Castilla

# Agradecimientos

El Comité Organizador agradece a todas las instituciones académicas, centros de investigación, patrocinadores y participantes que hacen posible este evento. Su compromiso con la ciencia y la ingeniería contribuye de manera directa a la construcción de un futuro más resiliente y regenerativo para nuestra región.



## Introducción

La industria química global constituye uno de los pilares del desarrollo económico y tecnológico contemporáneo. Representa más del 4 % del PIB mundial y emplea directamente a más de 15 millones de personas, generando soluciones transversales que impulsan sectores como la energía, la salud, la agricultura, los materiales avanzados y la sostenibilidad ambiental. Según el International Council of Chemical Associations (ICCA), más del 95 % de los bienes manufacturados dependen, en alguna etapa, de la ingeniería química. Este sector, actualmente valorado en más de 5.7 billones de dólares anuales, se encuentra en una transición acelerada hacia modelos verdes, circulares y digitales, integrando biotecnología, inteligencia artificial, y catálisis sostenible en sus cadenas productivas.

La industria química es, sin duda, uno de los motores de transformación más influyentes en el desarrollo económico y social de los países. Sus aportes abarcan desde la producción de combustibles y materiales esenciales hasta la creación de soluciones innovadoras en salud, agricultura, energía y sostenibilidad ambiental. En el contexto interamericano, esta industria no solo ha contribuido al crecimiento económico, sino que también se ha convertido en un pilar estratégico para afrontar los grandes desafíos globales.

En el contexto latinoamericano y más específicamente colombiano, la ingeniería química ha evolucionado como un motor clave para la diversificación industrial, la transformación

energética y la sostenibilidad. Colombia concentra más de 700 empresas químicas registradas, con participación creciente en biotecnología, agroindustria, petroquímica, alimentos y tratamiento ambiental. Las universidades y centros de investigación nacionales, junto con el sector empresarial, han fortalecido su papel en la transición hacia una industria baja en carbono y de base biológica, respondiendo a las metas de descarbonización del país para 2050 y al fortalecimiento de una bioeconomía competitiva.

La ingeniería química se ha consolidado como un eje estratégico en la transición hacia modelos de desarrollo más sostenibles y resilientes. En un contexto marcado por desafíos de cambio climático, la necesidad de reducir emisiones, la transformación de las cadenas de suministro y procesos más limpios, estos avances son decisivos para garantizar un equilibrio entre productividad, competitividad y el cuidado del planeta. La articulación de conocimientos en áreas como biotecnología, catálisis, procesos verdes, innovación en materiales y sistemas de procesos abre nuevas oportunidades para transformar la realidad productiva de las América y el Caribe, proyectándola hacia escenarios globales de liderazgo científico y tecnológico.

Las memorias aquí compiladas reúnen aportes de diversas universidades, empresas y centros de investigación, refleja la vitalidad y diversidad de la disciplina en el ámbito académico, científico y productivo. Los trabajos aquí reunidos abordan temas estratégicos en las Ciencias de la Ingeniería Química, la Ingeniería de Reacciones y Catálisis, la Ingeniería de Procesos, la Economía Circular, los Materiales Avanzados, la Biotecnología Industrial y la Energía Sostenible, entre otros. Cada contribución es un testimonio del esfuerzo conjunto por construir conocimiento aplicado que promueva la innovación y la sostenibilidad en el continente. El carácter interamericano del congreso fortalece la importancia de la cooperación científica y tecnológica entre países, favoreciendo la creación de redes académicas, el relacionamiento con la industria, la

movilidad investigativa y la construcción de proyectos de impacto regional. En este sentido, los temas abordados en las memorias no solo aportan a la generación de nuevo conocimiento, sino que también contribuyen a la consolidación de un tejido de innovación que conecta a la ingeniería química con los sectores productivos, los gobiernos y la sociedad en su conjunto.

Este compendio de investigaciones representa, por tanto, un testimonio del compromiso de la comunidad interamericana de ingenieros químicos con la construcción de un futuro resiliente y regenerativo, donde la ciencia y la tecnología se ponen al servicio de la sostenibilidad, la equidad y el bienestar de la sociedad.

## Ciencias de la ingeniería química

La ciencia base de la ingeniería química vive una reconfiguración profunda por tres fuerzas: descarbonización, circularidad y digitalización. A nivel global, la industria química representa ~USD 6.2 billones (2024) y continuó creciendo en 2025. Esta escala explica por qué avances en termodinámica aplicada, equilibrio de fases, separación por membranas, análisis de ciclo de vida (ACV) y modelado de propiedades impactan prácticamente en todas las cadenas productivas (materiales, alimentos, salud, energía). El viraje hacia una química climáticamente neutra fuerza una visión integral del ACV y el ecodiseño; simultáneamente, la adopción de gemelos digitales y herramientas de modelado avanzadas acelera la innovación y la transferencia a planta. En Colombia y Latinoamérica, en general, el tejido universitario e industrial ha venido incorporando estas tendencias en frentes como el ACV en refinación, separaciones intensificadas (pervaporación y adsorción), valorización de residuos y química de materiales. Las políticas de eficiencia energética y los programas de evaluación industrial están empujando mejoras en uso de energía y agua. Algunos resultados demuestran mayor adopción de métricas ambientales, integración masa-energía y soluciones basadas en bioeconomía y economía circular de acuerdo con los trabajos presentados y descritos a continuación.

## Análisis de ciclo de vida (ACV) del proceso de isomerización de butano en refinería

Lina Luz Mejía González, Zoila Cristina Ochoa Peralta, Ángel Darío González Delgado

Universidad de Cartagena

lmejia@unicartagena.edu.co, zochoap@unicartagena.edu.co,

agonzalezdl@unicartagena.edu.co

### Resumen

La demanda mundial de gasolina y productos petroquímicos ha experimentado un crecimiento constante durante la última década, junto con regulaciones estrictas que impulsan la producción de combustibles más limpios. Gracias a esto, la composición de la gasolina ha mejorado su calidad con el uso de procesos de isomerización para aumentar el índice de octanaje. La isomerización consiste en el reordenamiento de la estructura de parafinas de cadena lineal en parafinas de cadena ramificada. Uno de ellos es el isobutano, producto químico muy demandado en la industria de la refinería para la producción de aditivos importantes para las gasolinas reformuladas. Existen más de 200 unidades de producción en todo el mundo, con una capacidad de procesamiento de 1.5 millones de barriles/día de parafinas ligeras. Por tal motivo, en este trabajo se realizó el análisis de ciclo de vida (ACV) mediante el *software* SimaPro para obtener información, evaluar y medir de manera objetiva, impactos potenciales que el proceso de isomerización de butano puede generar sobre el medio ambiente durante un rango de tiempo específico. Basados en el análisis de cada etapa y las materias primas que influyeron en la obtención de las sustancias que participan en el proceso desde su extracción hasta la disposición final. Se tuvieron en cuenta casos de estudio como la contribución de los impactos de la energía y producto, que generan un

impacto global de salida por kilogramo de producto de 0.85 PEI/kg-producto.

*Palabras clave:* isomerización de butano, análisis de ciclo de vida, impacto ambiental.

## Evaluación técnico-económica del proceso de isomerización de butano en refinerías

*Lina Luz Mejía González, Zoila Cristina Ochoa Peralta, Ángel Darío González Delgado*

Universidad de Cartagena  
lmejiag@unicartagena.edu.co, zochoap@unicartagena.edu.co,  
agonzalezdl@unicartagena.edu.co

### Resumen

En la industria, la toma de decisiones relacionadas con el diseño y la optimización de procesos debe considerar varios factores clave, entre ellos el económico. Este factor puede restringir la capacidad de diseñar o modernizar una planta industrial debido a los costos significativos asociados a las inversiones necesarias. Este estudio busca proporcionar una indicación de la viabilidad económica del proceso de isomerización de butano, considerando aspectos de inversión de capital, costos operativos y rentabilidad. Se modelaron los costos de inversión total como la suma de la inversión de capital fijo, capital de trabajo y costos de arranque. Los costos operativos se clasificaron en costos de producción directos, cargos fijos, *overhead* y gastos generales. Los indicadores económicos, como el punto de equilibrio, la tasa interna de retorno y el valor presente neto se utilizaron para evaluar la viabilidad del proceso. El parámetro económico seleccionado para analizar la rentabilidad del proyecto es el retorno de la inversión. Los resultados indican que la inversión total de capital fue de USD 129.63 millones, con un retorno de la inversión del

43.88 % y un periodo de recuperación de la inversión de 1.19 años. Ello indica que la inversión es rentable, pues los ingresos del proyecto son mayores a la inversión inicial de capital.

*Palabras clave:* BIM, integración energética; isomerización; viabilidad económica; costos operacionales.

---

## **Análisis de seguridad de procesos: evaluación técnica de seguridad inherente descriptiva (NuDIST) en el proceso de isomerización de butano en refinería**

*Lina Luz Mejía González, Zoila Cristina Ochoa  
Peralta, Ángel Darío González Delgado*

Universidad de Cartagena

lmejiag@unicartagena.edu.co, zochoap@unicartagena.edu.co,

agonzalezdl@unicartagena.edu.co

### **Resumen**

La unidad de isomerización de butano desempeña un papel importante en las refinerías, ya que permite la conversión de pentanos y hexanos lineales en isómeros más ramificados, un componente esencial para la producción de gasolinas de alto octanaje. Al diseñar cualquier proceso, uno de los aspectos más importantes es el aspecto de seguridad, ya que muchas de las decisiones técnicas y económicas están fuertemente orientadas por este factor. En este trabajo utilizó la metodología NuDIST (Técnica de Seguridad Inherente Descriptiva) para cuantificar y evaluar los riesgos intrínsecos del proceso en etapas tempranas de diseño. Los parámetros de la metodología —como la explosividad, la inflamabilidad y la toxicidad— se calcularon mediante la búsqueda en las bases de datos de literatura y fichas técnicas de seguridad, teniendo en cuenta el punto de inflamación, los límites superior e inferior de explosión y el valor de toxicidad del valor

límite umbral-límite de exposición a corto plazo (TLV-STEL). Entre tanto, los parámetros de temperatura, presión y calor de reacción se obtuvieron del proceso simulado en ASPEN HYSYS. El ácido sulfhídrico fue el principal contribuyente en el parámetro de toxicidad, con un valor de 99.73, y el segundo con mayor parámetro de explosividad, con 0.096. De este proceso se obtuvo una puntuación total de seguridad química máxima de 194.97 proveniente del ácido sulfhídrico. La puntuación total de seguridad del proceso fue de 147.05. El índice de la puntuación total de NuDIST calculada fue 342.03, el cual representa un nivel de riesgo leve, considerando que un proceso es inseguro a partir de una puntuación de 400. Con base en los resultados, se recomienda optimizar las condiciones de operación, porque con ello se lograría una disminución significativa en el potencial de eventos peligrosos y se mejoraría la seguridad inherente total del proceso.

*Palabras clave:* método NuDIST, seguridad inherente, isomerización, isobutano.

## Extracción y cuantificación del extracto de café verde rico en ácido clorogénico

*Lina María Suárez Bulla, Iván Darío Gil*

*Chaves, Luis Ignacio Rodríguez Varela*

Universidad Nacional de Colombia

limsuarezbu@unal.edu.co, idgilc@unal.edu.co, lirodriguez@unal.edu.co

### Resumen

El propósito de esta investigación se centró en la extracción y cuantificación del ácido clorogénico (CGA) en extractos de café verde. Durante la investigación, se analizó la influencia de los principales parámetros del proceso en el rendimiento

de la extracción y la composición del CGA en los extractos. Se utilizó una metodología inicial que incluye extracción Soxhlet con agua durante 12 horas y, posteriormente, con etanol durante 10 horas, según la metodología NREL, que retira componentes polares y componentes apolares; esto para caracterizar el grano de café verde y obtener el total de extractivos de la matriz vegetal. Además, se llevó a cabo la extracción supercrítica de los granos de café verde usando etanol como cosolvente al 7 % w/w, a una temperatura de 50 °C y una presión de 170 bar (extracción realizada a escala piloto). Con estas condiciones se realizó cinética de extracción junto con el ajuste del modelo matemático propuesto por Sovová. Los resultados obtenidos muestran un rendimiento de extracción del 3.3 % b.s con extracción supercrítica; además, se utilizó un diseño de experimentos Box-Behnken para las condiciones óptimas de extracción de CGA. Las extracciones de granos de café se realizaron a tres temperaturas diferentes (50, 62.5 y 75 °C), tres presiones diferentes (150, 255 y 360 bar) y tres caudales totales que incluyen dióxido de carbono supercrítico y cosolvente (13, 19 y 25 kg/h). Mediante la aplicación de HPLC-PDA a los extractos, se analizó el perfil cuantitativo del CGA con la metodología de superficie de respuesta.

*Palabras clave:* ácido clorogénico, café verde, extracción supercrítica, cosolvente.

---

## Cálculo de múltiples estados estacionarios en procesos químicos utilizando métodos de continuación por homotopía, Aspen Plus y MATLAB

César Augusto Sánchez Correa, Óscar Salazar

Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá), TechnipFMC  
casanchezc@unal.edu.co, oscar.salazar@technipfmc.com

### Resumen

La identificación de múltiples estados estacionarios (MEE) es una tarea importante en la síntesis de procesos químicos y en la implementación de sistemas de control; así mismo, para el cálculo de los límites de una operación segura. También cumple un rol muy importante en los problemas de optimización de procesos químicos, en términos de rendimiento y consumo energético. La estrategia más consolidada para la identificación de MEE consiste en el trazado e interpretación de diagramas de bifurcación (DB) respecto de uno o varios parámetros característicos del proceso. Esto se viene haciendo en ingeniería química desde la década de 1970. El enfoque se encuentra bien desarrollado para modelos matemáticos simplificados de los equipos de proceso o sistemas de proceso con pocas unidades (*i. e.*, propiedades constantes, modelos linealizados, modelos pseudohomogéneos, etc.). Sin embargo, para el caso de sistemas de proceso con múltiples unidades y modelos matemáticos detallados de los equipos, los paquetes de *software* de simulación de procesos químicos (*i. e.*, Aspen Plus, Aspen Hysys, PRO/II, CHEMCAD, etc.), hasta el momento, no cuentan con herramientas para el cálculo de DB. En la actualidad, es posible aprovechar los modelos rigurosos implementados en los simuladores comerciales, junto con el uso de un lenguaje de programación externo, para trazar DB más precisas, que corresponden con la solución rigurosa de estos modelos. En este trabajo se implementó un método para calcular diagramas de bifurcación por homotopía con longitud

de arco, empleando el *software* de programación MATLAB, para controlar la variación de parámetros en el simulador de procesos Aspen Plus. A manera de validación, se trabajó el conocido problema del reactor de propilenglicol. Después de la validación se trabajaron dos casos inéditos en la literatura de MEE: 1) una columna de destilación reactiva heterogénea para la producción de una mezcla de los acetatos de isoamilo y etilo y 2) el proceso industrial clásico para la producción de etilbenceno. En todos los casos se identificaron múltiples estados estacionarios de manera metódica con la ayuda de los diagramas de bifurcación basados en modelos rigurosos.

*Palabras clave:* diagramas de bifurcación, propilenglicol, etilbenceno, acetato de isoamilo, destilación reactiva.

---

## Desempeño de modelos en la simulación de la pervaporación de ácido acético y agua

*Víctor Hugo Grisales Díaz, Laura Tatiana Villa Corzo, Erik Santiago Acuña Mayorga, Mario Andrés Noriega Valencia*

Semillero de Nuevas Tecnologías de Separación, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá)  
vhgrisalesd@unal.edu.co, lavillac@unal.edu.co, eacunam@unal.edu.co, manoriegava@unal.edu.co

### Resumen

Se evaluó el desempeño de modelos para la simulación de los flujos en el permeado de la pervaporación de 221 membranas reportadas en la literatura. Para ello, se ajustaron los datos experimentales a un modelo basado en la formulación de Maxwell-Stefan (MS). El modelo puede reducirse al modelo convencional de solución-difusión en pervaporación. Se incluyó

un efecto tipo Arrhenius en los parámetros de permeabilidad y difusión con respecto a la temperatura. Además, se añadió un término para considerar el efecto del hinchamiento de la membrana. Se analizaron distintos modelos de difusión y termodinámicos (UNIQUAC y UNIFAC Dortmund). Estos efectos se evaluaron por separado mediante el ajuste individual de los datos experimentales de cada membrana a cada modelo. Cada modelo tiene un número diferente de parámetros: el modelo de solución-difusión convencional (4 parámetros), el modelo de solución-difusión con hinchamiento (6), el modelo MS sin hinchamiento (8) y el modelo MS con hinchamiento (10 parámetros). Por tal motivo, los modelos se evaluaron mediante el criterio de Akaike, que permite seleccionar el mejor modelo considerando la función objetivo alcanzada, el número de parámetros utilizados y la cantidad de datos experimentales. Para el ajuste en MATLAB® se emplearon algoritmos híbridos, que incluyen una inicialización con algoritmos genéticos y una optimización local posterior. Se realizaron variaciones en la tolerancia y en el método de estimación de las derivadas, con un total de 100 optimizaciones por membrana, con el objetivo de lograr el mejor ajuste posible. Entre los principales resultados obtenidos, se encontró que el efecto del hinchamiento de la membrana fue el más relevante, ya que permitió reducir el error medio en la estimación de porcentaje de error absoluto mediano (MdAPE) del 4.2 % y 15.1 % para la composición en el permeado y flux total al 1.5 % y 7.9 % en las membranas evaluadas. Se encontró que no es necesario estimar la actividad mediante un modelo, en su lugar asumir que es suficiente igual a 1. Entre tanto, se requiere la estimación de la difusión para disminuir el MdAPE en la estimación del flux total del 10.5 % al 7.9 % con el modelo de MS con hinchamiento. Con respecto a la formulación del modelo de transporte, el modelo de solución-difusión convencional con hinchamiento alcanzó un error de raíz cuadrada media de 0.0619 y 0.0394 para la composición en el permeado y para el flux total, y el modelo de MS con hinchamiento lo redujo a

0.0553 y 0.0142, respectivamente. No obstante, el modelo de solución-difusión convencional con hinchamiento fue suficiente para modelar la mayoría de las membranas de acuerdo con el criterio Akaike, por el bajo número de datos experimentales por membrana reportados, donde el 60 % de estas fueron modeladas preferiblemente con este modelo.

*Palabras clave:* Maxwell-Stefan, solución difusión, ajuste paramétrico, membranas, pervaporación.

---

## Impacto del soporte poroso de una celda de permeación en la estimación de las propiedades intrínsecas de una membrana

*Zheng Cao, Bogdan Kruczek, Jules Thibault*

Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Ottawa  
Jules.Thibault@uottawa.ca

### Resumen

Con el desarrollo significativo de las membranas de gas, es importante determinar experimentalmente su desempeño utilizando celdas de permeación de laboratorio. El lado de salida de una membrana es típicamente soportado por un disco poroso de acero dentro de la celda de permeación para mantener su integridad física bajo altos gradientes de presión de gas. El estrecho contacto de la membrana con el disco poroso de acero restringe el transporte del gas que emerge en el lado permeado de la membrana, lo que puede afectar los parámetros de transporte intrínsecos medidos experimentalmente (difusividad, solubilidad y permeabilidad). Se inició un proyecto de investigación para determinar cómo la presencia del disco poroso de acero afecta la estimación de estos parámetros en un experimento de retardo temporal convencional. Asumiendo la aplicabilidad de la segunda ley

de difusión de Fick, el experimento de retardo temporal se simuló numéricamente. Se investigaron los efectos del espesor de la membrana, la porosidad del disco de soporte y el diámetro del poro promedio del disco poroso en los parámetros de transporte intrínsecos de la membrana, estimados a través del experimento de retardo temporal. La segunda ley de difusión de Fick tridimensional se resolvió mediante diferencias finitas, para determinar la tasa de permeación a través de una membrana homogénea instalada en una celda de permeación. Para definir completamente el problema, es necesario proporcionar la condición inicial y seis condiciones de frontera, dos para cada dimensión. En el lado de alimentación de la membrana, la permeación de gas se inicia con un cambio escalonado en la presión del gas y asumiendo un equilibrio instantáneo en la interfaz gas-membrana. En el lado del permeado, debido a la presencia del disco poroso de acero, la condición de frontera alternó entre una concentración de gas cero cuando la membrana estaba en contacto con un poro e impermeabilidad cuando estaba en contacto con la superficie sólida del disco. Los poros se distribuyeron aleatoriamente en la superficie del disco para obtener una fracción de cobertura específica del disco poroso de acero. Con el retardo simulado se determina la difusividad efectiva de la membrana. Los resultados muestran que el soporte del disco poroso de la membrana tiene un claro impacto en la estimación de la difusividad efectiva. El mayor impacto se produce cuando el tamaño del poro es aproximadamente igual al espesor de la membrana. Para poros muy pequeños, la difusividad de la membrana se estima correctamente. Estos datos pueden utilizarse como factor de corrección tras un experimento de retardo temporal, a fin de recuperar la difusividad real de la membrana.

*Palabras clave:* membrana, retardo temporal, difusividad, segunda ley de difusión de Fick.

---

## Development of a Sustainable Hybrid Adsorbent of Biochar and ZIF 8 MOF: Loratadine Removal

*Michael Ariel Vega Martínez*

Universidad Central del Ecuador-Facultad de Ingeniería Química  
mavegam@uce.edu.ec

### Resumen

The hybrid material between cocoa shell biochar and ZIF-08 (ZIF-08@BC), obtained by impregnation between microwave-assisted biochar (BC) (MAP) and synthesis of ZIF-08 synthesized on the surface of BC, is considered a potential adsorbent for the removal of loratadine from wastewater. In this study, the obtaining of ZIF-08@BC was evaluated through characterization (XRD, TGA, FTIR, elemental, BET, among others) and for the subsequent evaluation of its adsorption capacity to reduce loratadine in aqueous solutions. ZIF-08@BC exhibited favorable physicochemical and morphological properties. A crystallite size of 55 nm and a cubic formation were determined. It was found to have a structure with surface area 197 m<sup>2</sup>/g and functional groups, e.g., -OH, -C=N, -C-O, Zn-N characteristic of the imidazole organic metal framework. Adsorbate adsorption in ZIF-08@BC is controlled by physisorption. The process is significantly influenced by the protonation of loratadine and the binding in ZIF-8 nitrogens (chemisorption) and is described by the pseudo-first-order, pseudo-second-order, Bangham and Elovich kinetic models. Equilibrium data were represented through the Sips, Langmuir, Temkin, Freundlich and Redlich-Peterson models. The thermodynamic study reveals that the process is spontaneous, that is, the adsorption does not require external energy. In conclusion, it was determined that the best conditions for loratadine adsorption were at pH 6, 300 rpm, 75 mg of adsorbent

material and a time of 40 minutes, achieving an adsorption capacity of 23.103 mg loratadine/g ZIF-8@BC. Based on the results, the production of ZIF-8@BC is a sustainable way to recycle cocoa production waste in Ecuador.

*Palabras clave:* biochar, ZIF-8, microwave assisted pyrolysis, adsorption, kinetics.

## Estudio de pigmento ecológico a base taninos naturales y calcio en imprimante anticorrosivo alquídico

*Santiago Flores Merino, Carlos De La Torre*

Pontificia Universidad Católica del Perú  
sflores@pucp.edu.pe, delatorre.ce@pucp.edu.pe

### Resumen

La tendencia actual en la industria de los recubrimientos de protección es sustituir los pigmentos anticorrosivos convencionales (p. ej., cromato de zinc), debido a su toxicidad para el medio ambiente y la salud humana. Los pigmentos sintetizados a partir de taninos naturales y un catión metálico alcanzan los requisitos necesarios para ser considerados un producto eficiente, ecológico y de bajo costo, y se han convertido en una alternativa para la prevención de la corrosión en ambientes marinos e industriales. En el presente estudio preliminar, se sintetizaron pigmentos a base de tanino hidrolizable y una suspensión no salina de calcio. El pigmento ecológico molido se usó para formular dos imprimantes alquídicos que se aplicaron sobre probetas acero. Se evaluó el comportamiento anticorrosivo de las pinturas alquídicas comparadas con un imprimante alquídico no pigmentado con tanato de calcio, en un ensayo de corrosión acelerada en una cámara de niebla salina. Se espera que los imprimantes alquídicos con pigmentos

tanato de calcio presenten mejor desempeño anticorrosivo en el ensayo de corrosión acelerada, comparados con el imprimante alquídico sin pigmento inhibidor ecológico.

*Palabras clave:* corrosión, tanato, tanino hidrolizable, pigmento anticorrosivo.

## Desarrollo de un método rápido de cuantificación de ácido clavulánico en cultivos sumergidos de *Streptomyces clavuligerus*

*Alejandra Jiménez Bravo, Julieth Tróchez Cifuentes,  
Jaime Mosquera Restrepo, David Andrés Gómez Ríos*

Universidad del Valle

[jimenez.leidy@correounivalle.edu.co](mailto:jimenez.leidy@correounivalle.edu.co), [julieth.trochez@correounivalle.edu.co](mailto:julieth.trochez@correounivalle.edu.co),

[jaime.mosquera@correounivalle.edu.co](mailto:jaime.mosquera@correounivalle.edu.co),

[david.andres.gomez@correounivalle.edu.co](mailto:david.andres.gomez@correounivalle.edu.co)

### Resumen

El monitoreo efectivo de bioprocesos requiere herramientas analíticas rápidas, precisas y de bajo costo, especialmente en la producción de compuestos bioactivos como el ácido clavulánico. Este estudio estableció una metodología espectrofotométrica UV-VIS económica y de rápida aplicación, basada en extracción líquida con acetato de etilo, para cuantificar ácido clavulánico en caldos de fermentación de *Streptomyces clavuligerus*. Se validó su eficiencia, linealidad en diferentes matrices (estándar y medio real) y límites operativos confiables de concentración. El ácido clavulánico y sus sales son solubles en solventes orgánicos levemente polares como el acetato de etilo, lo cual permite su extracción desde fases acuosas, donde también es susceptible a hidrólisis catalizada por ácido o base. Se aplicó el método directamente en soluciones estándar (10-1250 ppm), rango típico para cultivos sin modificaciones metabólicas. Se construyeron 3 curvas de calibración independientes

con pendientes coincidentes, lo que permitió consolidar un modelo lineal por mínimos cuadrados ( $R^2 = 0.9833$ ) con la ecuación:  $Y = 0.0638 + 5 \times 10^{-4}X$ , siendo  $Y$  la absorbancia y  $X$  la concentración (ppm), a una longitud de onda óptima de 290 nm. La validación estadística del modelo, bajo supuestos de normalidad, homocedasticidad, independencia y media cero de los residuos, confirmó su adecuación para regresión lineal simple. Se detectó pérdida de linealidad a concentraciones bajas ( $\sim 10$  ppm), estableciendo un límite inferior de detección útil cercano a 100 ppm. La validación en medio real se realizó con caldos de fermentación sin ácido clavulánico detectable, suplementados con concentraciones conocidas del compuesto y sometidos al mismo protocolo de extracción. En el rango 100-600 ppm, los datos se ajustaron bien al modelo lineal. Sin embargo, concentraciones superiores a 600 ppm mostraron desviaciones de la linealidad, probablemente debido a interferencias del medio. Un análisis de regresión múltiple con términos de interacción (concentración  $\times$  tipo de medio) reveló una interacción significativa ( $p = 2.66e-06$ ), indicando que la pendiente del modelo varía con la matriz, afectando la precisión a altas concentraciones. En conjunto, los resultados demuestran que el método propuesto es una alternativa eficaz y reproducible para la cuantificación de ácido clavulánico en fermentaciones de *S. clavuligerus* dentro del rango 100-600 ppm. Ofrece ventajas operativas notables como simplicidad, bajo costo y rapidez, sin necesidad de reactivos especiales ni procedimientos complejos. La robustez del modelo se confirmó mediante replicación, validación estadística rigurosa y pruebas en matrices reales, que consolidan su aplicabilidad como herramienta práctica para el control analítico en la producción de ácido clavulánico, con potencial de uso en escalado industrial y monitoreo de procesos fermentativos.

*Palabras clave:* ácido clavulánico, *Streptomyces clavuligerus*, espectrofotometría UV-VIS, monitoreo de bioprocesos.

---

## Ingeniería de reacciones químicas y catálisis

La catálisis sostiene el corazón de la manufactura química moderna. Cerca del 90 % de los productos químicos involucran, al menos, una etapa catalítica. El campo vive una rápida expansión en electrocatálisis, catálisis para portadores de  $H_2$  (metanol o e-combustibles), catálisis de una sola entidad/átomo y reactores intensificados que, además de mejorar selectividad, ayudan a bajar la temperatura, la energía del proceso y reducir huella de carbono. Estas innovaciones son críticas para cumplir rutas *net-zero* sin sacrificar productividad, además de alinear la ciencia de reacciones con los objetivos de circularidad (reciclaje químico de polímeros, uso de  $CO_2$  como *feedstock*).

A continuación se compilaron diferentes productos presentados por grupos académicos y centros corporativos que vienen impulsando nuevos catalizadores, rutas de oxidación selectiva a baja severidad, reciclaje químico (BHET/PET) y biopolímeros; en paralelo, el Instituto Colombiano del Petróleo (Ecopetrol) ha ido desplazando su I+D hacia energías limpias y procesos de bajas emisiones, lo que abre espacio a catálisis para captura/uso de  $CO_2$ , combustibles sintéticos y bioprocesos de alto valor.

## Diseño de un reactor batch para la síntesis de biopelículas a partir de almidón de papa y plátano

*Yessica Andrea Tafur Díaz, Luisa Fernanda Carvajal Díaz*

Universidad Ean

ytafurd61538@universidadean.edu.co, lfcarvajal@universidadean.edu.co

### Resumen

El diseño de reactores eficientes para la hidrólisis del almidón de papa y su posterior polimerización representa un reto clave en el desarrollo de materiales biodegradables. La transformación de almidones requiere condiciones controladas de temperatura y agitación para optimizar la reacción con ácido acético y glicerina, que evitan la degradación del material y mejoran la calidad del producto final. Actualmente, existe una necesidad de equipos especializados que permitan una mayor estabilidad y reproducibilidad del proceso, lo que motiva el diseño de un reactor de tanque con agitación continua (CCTR) capaz de operar en un rango de temperatura de 60 °C a 70 °C, con una carga de 20 g de almidón por lote. Este trabajo se justifica por la creciente demanda de procesos sostenibles en la industria de los biopolímeros y los adhesivos naturales, donde la optimización del equipo desempeña un papel fundamental en la reducción de costos y la mejora de la eficiencia. En comparación con sistemas convencionales de procesamiento de almidón, el reactor CCTR propuesto busca mejorar la homogeneización del medio y garantizar un control preciso de la reacción. A partir de la revisión del estado del arte, se identificó que los reactores utilizados en procesos similares presentan limitaciones en el control de temperatura y en la eficiencia de mezcla, lo que afecta la calidad del producto final. El objetivo principal de este trabajo fue diseñar y dimensionar un reactor CCTR adecuado para este proceso, incluyendo la elaboración de planos de fabricación, listas de materiales y conexiones necesarias, así como la cotización

del proceso de manufactura. Para ello, a partir de un análisis detallado de los requerimientos térmicos y mecánicos del sistema, se consideraron materiales resistentes a la corrosión y adecuados para el manejo de los reactivos. Como resultado, se obtuvo un diseño optimizado que permite un calentamiento uniforme y una agitación constante, asegurando la eficiencia de la hidrólisis y la posterior polimerización del almidón. En conclusión, la implementación de este reactor no solo mejora el control del proceso, sino que también facilita su escalabilidad industrial, reduciendo variaciones en la calidad del producto final. La integración de un sistema eficiente de agitación y temperatura contribuye a una mayor estabilidad de la reacción y, así, se obtienen biopolímeros con mejores propiedades físicas y químicas. Este trabajo sienta las bases para futuras mejoras en el diseño de reactores orientados a la producción de materiales biodegradables a partir de fuentes naturales.

*Palabras clave:* diseño de reactores, hidrólisis de almidón, biopolímeros biodegradables, agitación continua (CCTR), optimización y escalabilidad industrial.

---

## Estudio cinético del ácido poli-L-láctico (PLLA) sintetizado a partir de la fermentación de papa nativa *Solanum tuberosum ssp. andígena*

*Geraldine Denise Bazán Panana, María*

*Verónica Carranza Oropeza*

Centro de Investigaciones Tecnológicas, Biomédicas y Medioambientales  
geraldine.bazan@unmsm.edu.pe, mcarranza@unmsm.edu.pe

### Resumen

El ácido poliláctico (PLA) es un biopolímero biodegradable con aplicaciones en empaques sostenibles e ingeniería biomédica.

Su obtención a alta masa molecular se realiza mediante polimerización por apertura de anillo de lactida (ROP). Estudios previos han indicado que las impurezas en el ácido láctico pueden afectar la eficiencia y cinética de la polimerización, reduciendo su velocidad. La mayoría de las investigaciones han empleado ácido láctico comercial con una pureza del 88 % al 95 %; mientras que la síntesis a partir de ácido L-láctico fermentativo, de menor pureza incluso tras su purificación, sigue siendo poco explorada. En este contexto, el estudio analizó la cinética de la polimerización del ácido poli-L-láctico (PLLA) obtenido a partir de ácido L-láctico fermentativo de almidón de papa nativa azul helada, buscando enriquecer la ciencia de los polímeros y revalorizar recursos renovables. Se utilizó un diseño Plackett-Burman para evaluar la influencia de diversos parámetros en la síntesis del PLA mediante ROP. Los resultados mostraron que la temperatura de polimerización y la concentración del catalizador tuvieron efectos significativos, lo que llevó a aplicar un diseño factorial. Se determinó que la mayor masa molecular (144.932 kDa) se obtuvo a una temperatura de 180 °C y una concentración de octoato de estaño del 0.8 %, valor inferior a los 173 kDa obtenidos con ácido láctico comercial, evidenciando el impacto de las impurezas presentes en el monómero fermentativo. Las caracterizaciones realizadas confirmaron la identidad y propiedades fisicoquímicas del polímero. El análisis por FTIR mostró los picos característicos del PLA, validando su formación. Mediante viscosimetría capilar se determinaron las masas moleculares utilizando cloroformo a 25 °C como solvente. El DSC mostró un 46.63 % de cristalización, una T<sub>g</sub> de 51.09 °C y una T<sub>m</sub> de 139.30 °C. El análisis TGA indicó una temperatura de degradación térmica del polímero de 264.13 °C, lo que sugiere una estabilidad térmica adecuada. El estudio cinético reveló que la reacción sigue un modelo de primer orden, lo que implica que la velocidad de polimerización depende linealmente de la concentración del monómero. La energía de activación calculada (71.051 kJ/mol) indica que el proceso

requiere una cantidad moderada de energía, en concordancia con reacciones de polimerización por apertura de anillo. Este valor es superior al observado con ácido láctico comercial, lo que sugiere una mayor resistencia a la polimerización debido a las impurezas. Además, el alto factor preexponencial ( $8.056 \times 10^6 \text{ min}^{-1}$ ) refleja una frecuencia significativa de colisiones exitosas, que favorecen la reacción en condiciones óptimas de temperatura. Por otro lado, se demostró que la velocidad de reacción aumenta con la temperatura debido al incremento en la energía de los reactantes. Sin embargo, la velocidad de reacción obtenida fue menor en comparación con el uso de ácido láctico comercial, lo que confirma el efecto negativo de las impurezas sobre la cinética de polimerización. En conjunto, estos hallazgos proporcionan información clave sobre la influencia de la pureza del monómero en la cinética y las propiedades del PLA, lo que contribuye al desarrollo de procesos más eficientes para la obtención de biopolímeros a partir de fuentes renovables.

*Palabras Clave:* PLA, ROP, ácido L-láctico fermentativo, cinética, biopolímeros sostenibles.

---

## Avances en la revalorización de efluentes de tintorería mediante la integración de fotocatalisis y biotecnología de cianobacterias

*Néstor Andrés Urbina Suárez, Cristian Jesús Salcedo Pabón, Andrés Fernando Barajas Solano*

Universidad Francisco de Paula Santander  
nestorandresus@ufps.edu.co, cristianjesussp@ufps.edu.co,  
andresfernandobs@ufps.edu.co

### Resumen

El objetivo de esta investigación fue transformar efluentes de tintorería proveniente de una empresa en la ciudad de Cúcuta en medios de cultivo alternativos para la producción de biomasa y metabolitos de alto valor, integrando procesos avanzados de oxidación y cultivos de cianobacterias. Para ello, se aplicó un proceso de fotocatalisis  $H_2O_2/UV$  que, mediante un diseño experimental central compuesto y análisis de superficie de respuesta, optimizó las variables operativas (concentración de reactivos, pH y temperatura) con el *software* Design Expert. Posteriormente, el efluente tratado se utilizó como medio de cultivo para el cultivo de la cepa UFPS 1 perteneciente al género *Oscillatoria* sp., se utilizó un fotoperiodo 18:6 luz/oscuridad, un caudal de aire de 0.8 VVM, temperatura de 27 °C, un flujo de luz de 200  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ , pH inicial de 7.1, fotobiorreactores de 1 L, con un volumen operacional de 0.7 L. En el proceso fotocatalítico se logró la oxidación del amonio en un 90.5 % y remociones de DQO y COT del 50.5 % y del 68 %, respectivamente; además, remoción de color de un 67 %. Este proceso favoreció la generación de nitratos y fosfatos. Los cambios en la calidad del efluente de tintorería permitieron su utilización directa como medio de cultivo, al eliminarse la necesidad de nutrientes adicionales. El cultivo de la cepa UFPS 1 demostró un crecimiento robusto, sin diferencias significativas con el control, y se obtuvo

biomasa con elevadas concentraciones de proteínas, lípidos y otros metabolitos de interés industrial. La combinación de la oxidación avanzada y el cultivo biotecnológico de cianobacterias no solo contribuye a la remediación ambiental y a la reducción del impacto de los efluentes de tintorería, sino que también ofrece una vía para la generación de productos de valor agregado, impulsando estrategias de bioeconomía circular y sostenibilidad.

*Palabras Clave:* fotocatalisis, cianobacterias, *Oscillatoria*, efluentes de tintorería, UV/peróxido.

## Integración de procesos biotecnológicos para la valoración de efluentes de curtiembre en la producción de biomasa microalgal de alto valor agregado

*Néstor Andrés Urbina Suárez, Janet Bibiana García  
Martínez, Germán Luciano López Barrera*

Universidad Francisco de Paula Santander  
nestorandresus@ufps.edu.co, janetbibianagm@ufps.edu.co,  
lucianolb@ufps.edu.co

### Resumen

Esta investigación evaluó la utilización de efluentes residuales de curtiembres de Norte de Santander como medio de cultivo para la producción de biomasa microalgal de alto valor agregado. Se evaluó el efecto de la concentración del efluente y el ciclo de luz/oscuridad en la síntesis de metabolitos, en dos cepas microalgas *Chlorella* sp. y *Scenedesmus* sp., pertenecientes al laboratorio de Innovalgae de la Universidad Francisco de Paula Santander. Se implementó un diseño experimental central no factorial con superficie de respuesta mediante el *software* Statistica 7.0, se determinaron las condiciones óptimas y se validaron las diferencias significativas

en la producción de biomasa mediante un Anova de una vía mediante el *software* PRISMA. A la biomasa de los óptimos se les evaluó la producción de ficocianinas (C PC, APC y PE), lípidos, proteínas, carbohidratos y fitohormonas. El diseño experimental evidenció que al emplear un 100 % de agua residual, se alcanzó la máxima producción de biomasa, bajo un ciclo de 13/11 horas de luz para la cepa de *Chlorella* sp. y 12/12 para *Scenedesmus* sp. Asimismo, se obtuvieron altas eficiencias en la remoción de nutrientes: 97 % para nitratos, 73.3 % para fosfatos y 93.2 % de DQO, que evidencian el potencial biorremediante de las cepas estudiadas. En cuanto a la producción de metabolitos, se registraron porcentajes del 32.6 % en proteínas, del 26.4 % en lípidos, del 41.54 % en carbohidratos, del 0.8553 % en carotenoides, del 0.06 % en ácido indol acético, del 6.09 % en cenizas, y ficocianinas con 4.02 % (C PC), 4.20 % (A PC) y 2.2 % (PE) del peso seco de la biomasa. Los resultados de este trabajo evidencian la viabilidad de transformar un efluente altamente contaminante en un recurso para la obtención de biomasa de microalgas, promoviendo una estrategia de valorización y sostenibilidad en la industria de las curtiembres.

*Palabras clave:* microalgas, aguas residuales de curtiembre, ficocianinas, oxidación biológica, fitohormonas, lípidos.

---

## Influencia de las condiciones de operación en la oxidación parcial de metanol sobre catalizadores de Au-Fe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

*Marcos Fernando Carrillo Moreno, Julieth Tatiana  
García Sánchez, Víctor Gabriel Baldovino Medrano*

Universidad Industrial de Santander  
marcos2228423@correo.uis.edu.co, julieth.garcia.311@gmail.com,  
vicbaldo@uis.edu.co

### Resumen

El metanol es un alcohol utilizado como molécula plataforma para sintetizar compuestos de alto valor agregado mediante su oxidación parcial —como el dimetil éter, el dimetoximetano y el metilformiato—, que pueden emplearse tanto como combustibles como vectores para el transporte de hidrógeno. Esta ruta es atractiva debido a que, cuando el metanol se obtiene a partir de la hidrogenación de CO<sub>2</sub>, se puede obtener energía en un ciclo cerrado de emisiones de CO<sub>2</sub>, disminuyendo la huella de carbono. Sin embargo, las rutas tradicionales para la oxidación de metanol requieren temperaturas superiores a 300 °C y presiones mayores a 10 bar, lo que incrementa los riesgos operativos y los costos de producción, limitando su viabilidad en procesos industriales sostenibles. En este contexto, el empleo de catalizadores bimetalicos con propiedades redox y ácidas, como el catalizador Au-Fe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, se presenta como una alternativa interesante, debido a que permitiría modular las rutas de reacción y favorecería la oxidación parcial a temperaturas inferiores a 300 °C y a presión atmosférica. A pesar de que este tipo de catalizadores no han sido reportados en la literatura para esta reacción, es razonable pensar que las nanopartículas de oro facilitarían la adsorción de reactivos y la desorción de productos parcialmente oxidados a bajas energías de enlace; mientras que el hierro aportaría una funcionalidad redox. La combinación de ambos metales, junto con el soporte de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, permitiría optimizar el comportamiento

del catalizador, disminuyendo la temperatura requerida y reduciendo la formación de subproductos indeseados. Con este marco, el presente trabajo analizó el comportamiento catalítico del catalizador de Au-Fe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en la oxidación parcial de metanol, evaluando el impacto de variables operativas como la temperatura (170-240 °C) y la presión parcial de oxígeno (30-120 kPa). Inicialmente, se evaluó el sistema desde el punto de vista del equilibrio, mediante un análisis termodinámico y, posteriormente, en términos cinéticos con el uso de un reactor de flujo continuo operado en régimen diferencial. Los resultados revelaron que el catalizador de Au-Fe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> era activo en la reacción y que la conversión del metanol depende fuertemente de la temperatura y, en menor medida, de la presión parcial de O<sub>2</sub>; además, mostró un efecto de interacción entre ambas variables que sugiere la necesidad de mantener un suministro mínimo de oxígeno para renovar el oxígeno superficial que participa en la reacción. La formación de dimetoximetano y metilformiato requiere, en particular, una presión parcial mínima de oxígeno; mientras que la producción de dimetil éter se ve afectada primordialmente por la temperatura, probablemente debido a las propiedades ácidas del catalizador. La detección de pequeñas cantidades de formaldehído sugiere además que el catalizador podría favorecer la conversión directa de metanol a dimetoximetano en una única etapa. En conclusión, el catalizador Au-Fe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se mostró efectivo para la oxidación parcial de metanol bajo condiciones suaves de reacción, ofreciendo una ruta sostenible para la valorización del metanol y reduciendo el impacto ambiental asociado a los métodos convencionales.

*Palabras clave:* oxidación parcial de metanol, nanopartículas de oro, catalizadores bimetalicos, catálisis heterogénea.

---

## Caracterización y evaluación de catalizadores del tipo Zn-Mg/Al en la producción de BHET

*<sup>1</sup>Sara Olmos Puentes, <sup>1</sup>Shirley Beltrán Sierra, <sup>2</sup>Johana Rodríguez Ruiz, <sup>2</sup>Karen Mejía Grau, <sup>1</sup>Edgardo Meza Fuentes*

<sup>1</sup>Universidad de Cartagena, <sup>2</sup>Sena-Centro para la Industria Petroquímica  
saramichell2010@hotmail.com, sbeltrans@unicartagena.edu.co,  
ji.rodriguez@misena.edu.co, kpmejia@sena.edu.co,  
emezaf@unicartagena.edu.co

### Resumen

El politereftalato de etileno (PET) es uno de los polímeros termoplásticos más utilizados en el mundo, especialmente en la industria del envasado de alimentos y bebidas, debido a sus excelentes propiedades mecánicas, químicas y de barrera. Sin embargo, su alta estabilidad y baja biodegradabilidad han generado serios problemas ambientales, especialmente en ecosistemas marinos y urbanos. Frente a este desafío, la depolimerización química del PET mediante glicólisis se ha consolidado como una estrategia viable dentro del marco de la economía circular, al permitir la recuperación de monómeros de alto valor agregado como el bis(2-hidroxietil) tereftalato (BHET), que puede reutilizarse en la síntesis de nuevos polímeros. La eficiencia del proceso de glicólisis depende en gran medida del tipo de catalizador empleado. En este contexto, los catalizadores derivados de hidrotalcitas ofrecen un gran potencial gracias a su estructura laminar, su elevada área superficial y su capacidad para generar sitios ácidos y básicos tras su calcinación. Las hidrotalcitas, también conocidas como arcillas aniónicas o hidróxidos laminares, pueden modificarse térmicamente para obtener óxidos mixtos de los metales presentes en la estructura inicial. En este trabajo se evaluó el desempeño de tres catalizadores del tipo ZnMg/Al obtenidos por calcinación de una hidrotalcita en la depolimerización del PET por glicólisis, con el objetivo

de correlacionar su estructura y propiedades fisicoquímicas con su actividad en la conversión a BHET. La hidrotalcita inicial, con composición molar  $Zn/Mg = 1$  y  $Zn/Al = 1$ , fue preparada por el método de coprecipitación a pH constante, y posteriormente calcinada a 400, 500 o 600 °C para obtener los catalizadores. Los materiales fueron caracterizados por TGA-DTA, FTIR, DRX, y los métodos BET y BJH, para la determinación del área superficial específica y de la porosidad. La reacción de glicólisis empleó una relación PET/etilenglicol = 6, temperaturas de reacción de 180, 190 y 200 °C, y 0.033 g de catalizador. Los monómeros obtenidos se caracterizaron por FTIR y DSC. La fase hidrotalcita, bajo el efecto de la calcinación, generó los óxidos de magnesio y de zinc, así como el óxido de aluminio a 600 °C. También se observaron por DRX picos que indican la presencia de aluminatos de magnesio y zinc. Todos los catalizadores fueron activos para la depolimerización de PET a BHET, alcanzándose porcentajes del 100 % al conducir la reacción a 190 y 200 °C. El análisis por FTIR de los monómeros mostró las bandas características del BHET; mientras que los gráficos obtenidos por HPLC mostraron un único pico, asignado al BHET, lo que indica la alta selectividad de los catalizadores.

*Palabras clave:* depolimerización, glicólisis, politereftalato de etileno (PET), bis(2-hidroxietil) tereftalato (BHET), catalizador.

---

## Caracterización de carbón activado obtenido de bagazo de caña panelera para su aplicación en la adsorción de etileno

*Edwin Anibal Aza Taimal, David Felipe Yepez Ortega, Hernán Darío Zamora Zamora*

Universidad Mariana

edwina.aza212@umariana.edu.co, davidf.yepez212@umariana.edu.co,  
hzamora@umariana.edu.co

### Resumen

En Colombia, el sector panelero genera grandes cantidades de residuos orgánicos, entre los cuales destaca el bagazo de caña panelera (BCP). A pesar de su alto potencial para transformarse en productos de valor agregado, tradicionalmente se ha subutilizado este producto. Se estima que por cada hectárea sembrada se generan aproximadamente 6 toneladas de BCP. En el departamento de Nariño, donde se cultivan cerca de 19 000 hectáreas de caña panelera, la producción anual de este residuo asciende a aproximadamente 114 063 toneladas. Aunque una fracción del BCP se emplea como fuente de energía en la producción de panela y en la destilación artesanal de alcohol, esta práctica conlleva efectos adversos sobre la salud, debido a la exposición al humo, al aumento de la huella de carbono y a que contribuye a la acumulación de residuos, lo cual genera contaminación ambiental y favorece la proliferación de plagas. El BCP está compuesto principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, que lo convierte en una materia prima prometedora para la obtención de carbón activado (CA). Este material poroso posee una notable capacidad para adsorber compuestos orgánicos, entre ellos el etileno, una fitohormona que, incluso en bajas concentraciones, acelera la maduración de frutas climatéricas. La acumulación de etileno durante el almacenamiento poscosecha reduce significativamente la vida útil de los frutos, compromete su calidad y genera pérdidas económicas considerables. Aunque

existen métodos para controlar el etileno mediante inhibidores químicos, estos pueden afectar la sostenibilidad del proceso y representar riesgos para la salud humana. En este contexto, la utilización de materiales naturales como el CA para la adsorción del etileno surge como una alternativa eficiente, segura y ambientalmente responsable. Este proyecto se enmarca en los lineamientos de desarrollo sostenible del departamento de Nariño, que buscan transformar un residuo agrícola en un producto de valor agregado con aplicaciones potenciales en la conservación de alimentos climatéricos. El objetivo general de la investigación es caracterizar el carbón activado obtenido del BCP para su aplicación en la adsorción de etileno. En el objetivo específico se encuentra la caracterización del BCP proveniente de Nariño como materia prima para la obtención de carbonizado. Hasta el momento, el proyecto ha alcanzado avances significativos. Se diseñó y construyó un prototipo en acero inoxidable que garantiza la ausencia de oxígeno durante el proceso de carbonización, condición esencial para una buena obtención del CA. En cuanto a la caracterización del BCP, se realizaron análisis proximales que arrojaron los siguientes resultados: 1.973 % de cenizas, 11.275 % de humedad, 67.752 % de materia volátil y 19.003 % de carbono fijo. En el análisis elemental, se obtuvo una composición de 43.000 % de carbono, 11.955 % de hidrógeno y 38.001 % de oxígeno, datos que respaldan el potencial del BCP como precursor de materiales adsorbentes eficientes.

*Palabras clave:* bagazo de caña panelera, carbón activado, etileno, adsorción.

---

## Optimización del diseño de los canales de flujo para mejorar la conversión de dióxido de carbono en un electrolizador tipo MEA

<sup>1</sup>Camilo Estevan Peralta Hernández, <sup>2</sup>Esther Santos Santamaría, <sup>1</sup>Ángel Irabien

<sup>1</sup>Universidad de Cantabria, <sup>2</sup>APRIA Systems SL  
camilo.peralta@apriasystems.es, esther.santos@apriasystems.es,  
angel.irabien@unican.es

### Resumen

La creciente necesidad de reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ha motivado el desarrollo de tecnologías capaces de convertir este gas en compuestos de valor agregado, utilizando fuentes de energía renovable. El diseño de los distribuidores de flujo desempeña un papel importante en el rendimiento de los electrolizadores de CO<sub>2</sub>, y su diseño óptimo es esencial para lograr una distribución uniforme de la reacción y una eliminación eficiente de los productos de la celda. En este trabajo se presenta el modelado y simulación de una celda tipo MEA (Membrane electrode Assembly) utilizando COMSOL Multiphysics® 6.1 para evaluar el impacto de diferentes diseños del campo de flujo en el cátodo para la conversión de CO<sub>2</sub> a CO en una celda de 5 cm<sup>2</sup>. Para una evaluación sistemática del rendimiento de los distribuidores de flujo, la geometría 3D fue parametrizada en función del número de canales, el ancho de canal y la relación entre el ancho del canal y el ancho del puente en una configuración de flujo serpentina. El modelo se validó experimentalmente en una celda comercial de 5 cm<sup>2</sup>, utilizando nanopartículas de plata como catalizador, una membrana aniónica Sustainion X37-50 y una disolución de 0.1 M de KHCO<sub>3</sub> como anolito. Los experimentos se realizaron variando la densidad de corriente aplicada y los caudales de entrada, empleando la conversión en un solo paso (SPC, por sus siglas en inglés) como métrica de rendimiento. Los resultados indican que

la SPC y el transporte másico de  $\text{CO}_2$  pueden mejorarse en función del número de canales, el ancho del canal y la relación entre el ancho del canal y el de la nervadura. En particular, a una densidad de corriente de  $200 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$  y un caudal de  $50 \text{ sccm}$ , la SPC puede incrementarse aproximadamente un 38% al aumentar la relación ancho canal/nervadura a 1.6 y el número de canales a 19, respectivamente. Mantener la misma relación ancho canal/nervadura conlleva un aumento en la caída de presión, de 315 Pa a 625 Pa, si el número de canales se incrementa de 13 a 19. En cambio, para el diseño optimizado, se ajustó la relación ancho canal/nervadura a 1.6, compensando así el aumento en la caída de presión (350 Pa). En general, caídas de presión más altas conducen a mayores velocidades locales, lo que mejora el transporte de  $\text{CO}_2$  hacia la superficie catalítica. Esto es relevante en electrólisis de  $\text{CO}_2$  a gran escala, donde el flujo no uniforme de reactivos contribuye a limitaciones en el transporte másico. Estos resultados proporcionan un enfoque sistemático para optimizar diseños de campos de flujo, que puede extenderse a escalas mayores para mejorar el rendimiento en aplicaciones industriales.

*Palabras clave:* aprovechamiento de  $\text{CO}_2$ , diseño de reactores, conversión electroquímica, modelado multifísico.

---

## Esterificación del ácido láctico derivado de la fermentación de almidón de papa nativa para optimizar la producción de lactato de metilo en laboratorio

*Lenin Antonio Chávez Quispe, Dharlen del Rocío Fernández*

*Rivera, María Verónica Carranza Oropeza, Eliana Jara Morante*

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

leninantonio.chavez@unmsm.edu.pe, dharlen.fernandez@unmsm.edu.pe,

mcarranza@unmsm.edu.pe, ejaram@unmsm.edu.pe

### Resumen

La creciente preocupación por el agotamiento de los combustibles fósiles, junto con el impacto ambiental asociado a su explotación, ha incentivado la búsqueda de alternativas sostenibles basadas en materias primas renovables. En este marco, el ácido poliláctico (PLA) ha emergido como una opción viable frente a los plásticos derivados del petróleo, debido a su biodegradabilidad y a sus propiedades fisicoquímicas comparables. Dado que el PLA se obtiene a partir de ácido láctico (AL), es indispensable desarrollar procesos de síntesis de este monómero que sean tanto eficientes como económicamente viables. Por lo general, el AL se produce por fermentación de carbohidratos, pero su baja concentración en el medio de cultivo y su alta afinidad por la fase acuosa dificultan su recuperación, lo que eleva considerablemente los costos de purificación. Entre los métodos propuestos para mejorar su separación, la esterificación con alcoholes, seguida de destilación reactiva, ha mostrado ser una estrategia prometedora, ya que permite obtener derivados del AL con mayor facilidad de separación, al tiempo que posibilita la recuperación y reutilización del alcohol empleado. Estudios recientes han señalado que la esterificación del AL con metanol permite la obtención de lactato de metilo con alta eficiencia, y que este proceso puede llevarse a cabo en sistemas discontinuos o continuos, siendo estos últimos preferidos por su potencial

de escalabilidad y menor inversión de capital. En este trabajo se evaluó a escala de laboratorio la reacción de esterificación del AL fermentativo, obtenido a partir de almidón de papa nativa (*Solanum tuberosum* ssp. andígena) con metanol, con el objetivo de determinar las condiciones operativas que permitan maximizar la conversión a lactato de metilo. Para ello, se empleó un diseño experimental tipo Box-Behnken, que permitió analizar el efecto de tres variables independientes: la relación másica metanol/ácido láctico, la concentración de ácido láctico y la temperatura de reacción. El sistema experimental consta de un balón de vidrio de 500 mL, un sistema de condensación y recepción del producto; asimismo, se cuenta con un sistema de calentamiento controlado, bomba de alimentación y sensores de temperatura en el reactor y condensador. La reacción de esterificación catalítica se lleva a cabo en medio acuoso, en presencia de resina catalítica de intercambio catiónico (Amberlyst-15) y alimentación continua del metanol, siguiendo las especificaciones del diseño experimental, con una duración del proceso de aproximadamente 8 h. La cuantificación de la conversión del AL se determina por titulación y la identificación del AL y metil lactato se realiza por HPLC. Las pruebas preliminares indican que la reacción se favorece a 95 °C, relación de metanol/AL de 5 y que existe un efecto de la temperatura en la separación del metil lactato. Por lo tanto, aún es necesario precisar la locación de la mayor concentración del lactato de metilo, sea en el reactor o en el producto condensado. Considerando que la esterificación es una etapa previa al proceso de hidrólisis reactiva, esta información determinará la locación de las corrientes de alimentación y reflujo en la destilación reactiva donde se logrará la purificación del AL.

*Palabras clave:* ácido láctico, metanol, esterificación, temperatura, lactato de metilo.

---

## Ingeniería de sistemas de procesos

La ingeniería de sistemas de procesos (PSE) atraviesa una nueva digitalización. Esta integración de optimización, control avanzado, inteligencia artificial y aprendizaje automático, gemelos digitales y evaluaciones tecnoeconómicas, además de ambientales, abordan desde el diseño conceptual hasta la obra de ingeniería. Globalmente, esto se traduce en mejoras de intensificación, diseños con integración masa-energía y evaluaciones de resiliencia ante volatilidad de precios y necesidades de regulación en mercados emergentes. Los marcos internacionales generan cambios de competitividad obligado a rediseñar cadenas y a acelerar la eficiencia energética y sustitución de insumos, lo que reafirma el rol de la PSE como articuladora técnico-económico-ambiental.

Para el caso en específico, diferentes trabajos se presentaron a partir de metodologías aplicadas para hidrocraqueo, modelación de bioprocesos, diseño conceptual de biorrefinerías y evaluaciones de proyecto en sectores emergentes (p. ej., extracción supercrítica, procesos intensificados, entre otros).

## Resiliencia económica del proceso de hidrocrackeo de gasóleos en una refinería latinoamericana

*Sofía García-Maza, Ángel Darío González-Delgado*

Universidad de Cartagena

sgarciam@unicartagena.edu.co, agonzalezdl@unicartagena.edu.co

### Resumen

El hidrocrackeo de gasóleo se ha convertido en un elemento clave en las refinerías debido a la creciente demanda de destilados y la mayor producción de crudos pesados. Este proceso transforma hidrocarburos pesados en productos más livianos y valiosos como GLP, diésel, queroseno, naftas ligeras y naftas pesadas, mediante reacciones de hidrogenación e hidrocrackeo. Sin embargo, enfrenta desafíos técnicos, económicos y financieros que se deben superar para maximizar su potencial. En este estudio se implementó la resiliencia tecnoeconómica asistida por computador del proceso de hidrocrackeo de gasóleo a escala industrial. Se desarrollaron catorce gráficos para identificar el nivel de resiliencia y sensibilidad de una planta de hidrocrackeo de gasóleo operando en Colombia con una vida útil de 20 años frente a las variaciones en los precios de venta de los cinco principales productos del proceso, costos de materia prima, capacidad de procesamiento y costos variables normalizados de operación (NVOC), así como la ubicación del punto de equilibrio (BEP) y el valor presente neto (VPN). En este sentido, para analizar la resiliencia del proceso con los precios de venta de los productos, cuatro gráficos compararon este parámetro con la eficiencia en línea en BEP y diferentes indicadores técnico-económicos, como rentabilidad después de impuestos (PAT) y utilidad bruta depreciable (DGP), y financieros, como la utilidad antes de intereses, impuestos, depreciaciones y amortizaciones (EBITDA). Posteriormente, para analizar la resiliencia del proceso respecto de los costos de materia prima, otros cuatro gráficos compararon este

parámetro con la eficiencia en línea en BEP y diferentes indicadores técnico-económicos como PAT, DGP, tasa interna de retorno (TIR) y NVOC, y financieros como EBITDA. Luego, para analizar la resiliencia del proceso respecto de la capacidad de procesamiento, dos gráficos contrastaron este parámetro con las ventas anuales, costos operativos anualizados (AOC) e inversión fija de capital (FCI) normalizada. Luego, para analizar la resiliencia del proceso respecto al NVOC, dos nuevos gráficos compararon este parámetro con el retorno de la inversión (ROI) y el periodo de recuperación de la inversión (PBP). Adicionalmente, se crearon dos gráficos para describir la ubicación del BEP y el NPV. Los resultados indicaron que el proceso de hidrocrackeo de gasóleo es atractivo desde una perspectiva comercial, ya que se demuestran ingresos anuales en términos de PAT, EBITDA y DGP, considerando el precio de los productos y el costo de la materia prima; así como en términos de AOC y ventas anuales, considerando la capacidad de procesamiento. Adicionalmente, el proceso es resiliente respecto al precio de venta de GLP y nafta liviana, pero sensible respecto a los otros productos. Por otro lado, la planta estudiada es ligeramente sensible al costo de la materia prima con la eficiencia en línea en BEP, y al NVOC con el PBP. Finalmente, se concluye que la planta de hidrocrackeo presenta ventajas económicas al operar por encima del BEP y obtener valores de VPN positivos luego de solo nueve años.

*Palabras Clave:* proceso de hidrocrackeo de gasóleo, resiliencia económica, eficiencia en ubicación del punto de equilibrio, indicadores económicos, indicadores financieros.

---

## Evaluación técnica de un proceso de hidro craqueo de gasóleos integrado en masa

*Sofía García-Maza, Ángel Darío González-Delgado*

Universidad de Cartagena

sgarciam@unicartagena.edu.co, agonzalezdl@unicartagena.edu.co

### Resumen

Actualmente, la aplicación de métodos para optimizar la calidad de productos refinados, como el hidro craqueo de gasóleos, requiere una evaluación exhaustiva de las condiciones de operación del sistema, principalmente porque este tipo de procesos pueden optimizarse implementando técnicas de integración de masa y energía, que reducen el uso excesivo de recursos naturales y energéticos; además, a nivel de operación de planta, son difíciles los cambios significativos en los procesos sin tomar en cuenta los impactos económicos, ambientales y sociales que pudieran presentarse. Por esta razón, ha surgido la necesidad de utilizar herramientas computacionales especializadas que faciliten la predicción del comportamiento de diferentes procesos para optimizar sus etapas y conocer el desempeño y eficiencia de los procesos convencionales y optimizados. En este trabajo analiza la evaluación técnica del proceso de hidro craqueo de gasóleos a escala industrial integrado en masa y energía, considerando las condiciones generales del sistema y el desarrollo extendido de los balances de materia y energía, utilizando el simulador Aspen HYSYS<sup>®</sup>, donde se calcularon 9 parámetros técnicos y 12 indicadores técnicos relacionados con materias primas, productos, agua, energía, fuentes de energía y costos de agua y energía, así como se determinó la eficiencia de estos indicadores. Los resultados muestran que para una capacidad de carga de 487.545 lb/h de gasóleos con 145.708 lb/h de hidrógeno, se obtuvo un rendimiento de producción superior al 95 %. La relación de producción de aguas residuales (WPR)

mostró que la gestión del agua de proceso tuvo un desempeño optimista, superior al 50 %, debido a la integración másica de efluentes de aguas residuales, que disminuyeron el consumo de agua dulce. Ahora bien, el consumo fraccionado de agua, el costo total de la energía, la intensidad específica de energía y el índice de consumo de energía eléctrica mostraron que la gestión de materias primas, productos y energía es un aspecto positivo del proceso, debido a la relación eficiente entre los recursos, la fuente de energía utilizada y los productos obtenidos, alcanzando un alto rendimiento, superior al 70 %. Por otra parte, el índice de material no convertido reutilizado, el coste total de agua dulce, el índice de consumo de vapor y el índice de consumo de gas natural indicaron que la gestión del hidrógeno, los costes del agua y la fuente de energía tiene un rendimiento medio, inferior al 70 % debido a que una gran parte del hidrógeno no se recicla y se libera como subproducto, el coste del agua es elevado y predomina el uso de electricidad sobre el de gas natural. Finalmente, se obtuvo un índice de usabilidad energética y un ratio de energía neta con valores superiores a 1, lo que indica que el proceso es energéticamente eficiente, por la integración energética implementada.

*Palabras clave:* proceso de hidrocraqueo de gasóleo, integración de masa, evaluación técnica.

---

## Dinámica de los flujos de carbono de los aminoácidos precursores de C-5 en cultivos de *Streptomyces clavuligerus* durante la biosíntesis de ácido clavulánico

David Andrés Gómez Ríos, Luisa María Gómez

Gaona, Howard Ramírez Malule

Universidad del Valle

david.andres.gomez@correounivalle.edu.co,

luisa.gaona@correounivalle.edu.co, howard.ramirez@correounivalle.edu.co

### Resumen

El ácido clavulánico, componente clave en el tratamiento de infecciones bacterianas —responsables de un elevado porcentaje de muertes en el mundo—, se obtiene mediante el cultivo por lotes de *Streptomyces clavuligerus* (*S. clavuligerus*), pero los bajos rendimientos en esta etapa limitan su fabricación a gran escala e impactan los costos operativos tanto en el proceso de cultivo como en los procesos de concentración y separación. Incrementar los rendimientos de ácido clavulánico en la etapa de cultivo es relevante para aumentar la eficacia de los procesos de separación; sin embargo, las limitaciones metabólicas no permiten avances sustanciales en la mejora de los rendimientos de los procesos de cultivo a nivel de biorreactor. Se ha evidenciado la importancia de los aminoácidos precursores de 5 carbonos (C-5) en estudios experimentales e *in silico* a través del análisis de flujos metabólicos, destacándose la adición de precursores como arginina y ornitina para potenciar los flujos biosintéticos hacia el metabolismo secundario de *S. clavuligerus*. En este contexto, se evaluó el efecto metabólico de la suplementación con precursores C-5 en la biosíntesis de ácido clavulánico tanto en cultivos por lote como en lote alimentado mediante un enfoque de modelación metabólica dinámica. La aplicación de este enfoque resaltó la adición de precursores en la línea del glutamato y el aspartato, ya que esto incide sobre los flujos en el ciclo de la urea y, en

consecuencia, promueve altos flujos biosintéticos de ácido clavulánico en cepas silvestres de *S. clavuligerus*. El análisis *in silico* permitió dirigir la experimentación hacia escenarios de cultivo en lote alimentado, específicamente en medios suplementado con glutamato. Así mismo, una estrategia de alimentación ajustada favoreció la secreción continua del ácido clavulánico en cultivos a escala de biorreactor.

*Palabras clave:* simulación, dFBA, biología de sistemas, *Streptomyces*, ácido clavulánico.

---

## Correlación de parámetros de UNIFAC Dortmund para la predicción de equilibrios líquido-líquido en sistemas de producción de biodiésel

*Juan David Hoyos Bohórquez, Mario Andrés Noriega  
Valencia, Carlos Arturo Martínez Riascos*

Universidad Nacional de Colombia

jhoyosb@unal.edu.co, manoriegava@unal.edu.co, camartinezri@unal.edu.co

### Resumen

Para alcanzar emisiones netas cero en 2050, es esencial sustituir combustibles fósiles por alternativas líquidas compatibles con las tecnologías actuales de combustión, pero con menor impacto ambiental. El biodiésel se destaca como una opción prometedora, gracias a su carácter renovable y a su potencial para reducir las emisiones de carbono a lo largo de su ciclo de vida. Este combustible se produce principalmente por transesterificación de aceites vegetales, aunque su producción enfrenta desafíos importantes generados, en parte, por la solubilidad parcial. El modelado termodinámico preciso de estos sistemas es crucial para optimizar el diseño del proceso y mejorar la competitividad del biodiésel; estos modelos también serían

útiles en los análisis para producción de otros oleoquímicos de mayor valor agregado. En este trabajo se ajustaron los parámetros de interacción de grupos para el modelo UNIFAC Dortmund utilizando 1027 líneas de atadura experimentales representativas de sistemas involucrados en la producción de biodiésel. El modelo ajustado genera predicciones con un RMSE global de 0.0551, lo que supone una mejora del 48.9% respecto al modelo UNIFAC convencional.

*Palabras clave:* biocombustibles, equilibrio de fases, algoritmo genético, optimización.

## Evaluación tecnoeconómica de un proceso de extracción de aceite de *Cannabis sativa* L. mediante extracción con fluidos supercríticos

*María Paula Díaz Castillo, Javier Andrés Dávila Rincón*

Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá) y  
Universidad Jorge Tadeo Lozano  
mdiazcas@unal.edu.co, jadavilar@unal.edu.co

### Resumen

El proceso de extracción de compuestos bioactivos de *Cannabis sativa* L. enfrenta desafíos en términos de eficiencia, costos y sostenibilidad. Los métodos convencionales utilizan solventes orgánicos que pueden dejar residuos tóxicos y afectar la calidad del producto final. El diseño de un proceso de extracción de aceite de *Cannabis sativa* L. mediante CO<sub>2</sub> supercrítico es una alternativa eficiente y atractivo para la obtención de compuestos bioactivos de alto valor agregado. Con este método se controla la selectividad y pureza del producto, minimizando el uso de solventes tóxicos y reduciendo el impacto ambiental. La evaluación tecnoeconómica en el contexto colombiano proporciona información clave para determinar

la viabilidad comercial y las oportunidades de optimización, posicionando esta tecnología como una opción competitiva para la industria farmacéutica y de productos naturales. Esta investigación analizó y evaluó un proceso de extracción de aceite de *Cannabis sativa* L. Primero, se caracterizó la flor de *Cannabis sativa* L. en términos de su composición de biomasa lignocelulósica siguiendo los protocolos NREL; mientras que el aceite fue caracterizado mediante FTIR, cromatografía de gases (GC-FID) y extracción de compuestos volátiles por microencapsulación en fase sólida (SPME). Luego, se llevó a cabo el diseño de un proceso de extracción de aceite de cannabis utilizando CO<sub>2</sub> supercrítico y se desarrolló una evaluación tecnoeconómica en el contexto colombiano, evaluando varios escenarios para diferentes capacidades y variedades. Los resultados indicaron que el contenido de lignocelulosa fue del 32.04 % ( $\pm 0.045$ ), 14.21 % ( $\pm 0.029$ ) y 7.47 % ( $\pm 0.020$ ) para celulosa, hemicelulosa y lignina, respectivamente. El aceite mostró un contenido del 27.7 % de THC y del 1.1 % de CBD, además de un alto contenido de terpenos como el cariofileno y el terpinol, con 7.74 % y 4.61 %, respectivamente. La evaluación tecnoeconómica reveló que el costo de producción varía entre 11 150 y 6715 USD/kg para el aceite de CBD, y entre 3422 y 2050 USD/kg para el aceite de THC. Por lo tanto, esta investigación sugiere fortalecer los procesos de extracción supercrítica en el contexto colombiano, gracias a que es una oportunidad atractiva tanto diferentes tipos de productos como capacidades de planta, ya que todos los escenarios son económicamente viables.

*Palabras clave:* diseño de procesos, aceite de cannabis, extracción supercrítica.

---

## Diseño conceptual de la producción de polihidroxialcanoatos a partir de vinaza utilizando *Cupriavidus necator*

*Michael Steven Vanegas, Víctor Fernando Marulanda Cardona,  
Howard Ramírez Malule, David Andrés Gómez Ríos*

Universidad del Valle  
michael.vanegas@correounivalle.edu.co,  
victor.marulanda@correounivalle.edu.co,  
howard.ramirez@correounivalle.edu.co,  
david.andres.gomez@correounivalle.edu.co

### Resumen

Los polihidroxialcanoatos (PHA) son biopolímeros biodegradables producidos por diversos microorganismos como reservas energéticas intracelulares. A pesar de sus ventajas ambientales, los altos costos de producción limitan su aplicación a gran escala. Este estudio presenta un diseño conceptual para la producción de polihidroxibutirato (PHB), un tipo de PHA, utilizando vinaza como fuente de carbono y la bacteria *Cupriavidus necator*. La vinaza, subproducto de la producción de etanol, posee una elevada carga orgánica y representa un desafío ambiental significativo. Su valorización para la producción de PHA ofrece una alternativa sostenible para reducir residuos y generar biopolímeros de alto valor agregado. El diseño conceptual se desarrolló con base en datos de laboratorio, integrando simulaciones de procesos y evaluaciones de impacto ambiental. Se consideró una ruta metabólica simplificada para modelar la conversión de dextrosa a PHB, abarcando las etapas de fermentación, separación y purificación. Los resultados de la simulación permitieron identificar parámetros operacionales clave y evaluar la eficiencia del proceso. Además, se realizó un análisis de ciclo de vida (ACV) utilizando el *software* OpenLCA, estimando el impacto ambiental en términos de consumo energético, uso de agua y emisiones. Paralelamente, un análisis económico determinó

el costo de producción y la competitividad del PHB en el mercado. Los resultados demostraron que la vinaza puede emplearse como una fuente de carbono de bajo costo para la producción de PHA, reduciendo tanto la huella ambiental como los costos de materia prima. El proceso propuesto logró un costo de producción competitivo en comparación con otros bioplásticos, con oportunidades de optimización adicional en la recuperación de solventes y la integración energética. Este estudio contribuye al avance de modelos de economía circular promoviendo la gestión sostenible de residuos industriales.

*Palabras clave:* PHB, vinaza, *Cupriavidus necator*, biopolímeros, economía circular.

---

## Exploring PHB Production by a Genome-Scale Model of *C. necator*

<sup>1</sup>Martha Ligia Ascencio Galván, <sup>2</sup>Andreas Dräger, <sup>1</sup>David Andrés Gómez Ríos, <sup>1</sup>Howard Diego Ramírez Malule

<sup>1</sup>Universidad del Valle, <sup>2</sup>Martin Luther University Halle-Wittenberg  
martha.ascencio@correounivalle.edu.co,  
andreas.draeger@informatik.uni-halle.de,  
david.andres.gomez@correounivalle.edu.co,  
howard.ramirez@correounivalle.edu.co

### Resumen

Polyhydroxyalkanoates (PHA) is the biopolymer that has stood out the most in recent years due to its high biodegradability, resistance, and versatility. Therefore, it is estimated that PHA could become a direct competitor of petrochemical plastics. Polyhydroxybutyrate (PHB) is one of the most well-known and studied PHA and is the only homopolymer in this family. The PHB shares similar physical properties with polypropylene, including melting point, crystallinity, molecular weight, and tensile strength. Metabolic modeling tools may allow us to

explore and to identify new carbon utilization pathways in PHA biosynthesis based on omics data. However, only two genome-scale metabolic models (GEM) of *Cupriavidus necator* (*C. necator*) have been reported, both focused on the microbial production of PHB. In this study, a GEM of *C. necator* (iCNH2025A) was reconstructed and curated as a promising tool for exploring phenotypes and nutritional conditions potentially leading to enhanced PHB accumulations. A quantitative validation was carried out to evaluate the ability of the model to predict the growth and production of the PHB polymer under different carbon sources by flux balance analysis (FBA). Constraint-based simulations and analyses were performed in COBRA toolbox v.3.0 for MATLAB v.2021b. *In silico* experiments based on data available in recent literature, along with experimental data obtained in the laboratory, demonstrated that the proposed GEM can predict both *C. necator* growth and PHB production from carbon sources such as fructose and glucose, which have been reported as substrates for PHB biosynthesis. For the cases of *C. necator* growth rate on fructose as sole carbon source, the GEM was able to represent the experimental scenarios reported in the literature, yielding correlation coefficients of 0.78. Regarding the growth rate and PHB production using dextrose as a carbon source, our model was able to represent this scenario, with an *in silico* growth rate of 0.0079 1/h, showing a 5.1% error compared to the experimental growth rate. Meanwhile, the PHB production scenario yielded a flux of 0.019 [mmol/((DCW)\*h)]. Simulations conducted with iCNH2025A showed a significant correlation with experimental data, highlighting its ability to predict metabolic fluxes and growth rates under different conditions, including the use of fructose and dextrose as carbon sources.

*Palabras clave:* polyhydroxyalkanoates, *Cupriavidus necator*, genome-scale metabolic models, flux balance analysis.

---

## Evaluación de un sistema de simulación tipo *scale-down* para el estudio de oscilaciones de oxígeno en cultivos de *Streptomyces*

Ana Sofía Olayo Gordillo, Ruber Francisco Fajardo Montenegro,  
Howard Diego Ramírez Malule, David Andrés Gómez Ríos

Universidad del Valle

ana.olayo@correounivalle.edu.co, ruber.fajardo@correounivalle.edu.co,

howard.ramirez@correounivalle.edu.co,

david.andres.gomez@correounivalle.edu.co

### Resumen

La escalabilidad de procesos biotecnológicos representa uno de los principales desafíos en la ingeniería de bioprocesos, debido a las heterogeneidades que emergen al pasar de condiciones ideales en laboratorio a entornos industriales. Para enfrentar esta problemática, se han desarrollado modelos tipo *scale-down* que permiten replicar, a pequeña escala, condiciones industriales como gradientes de oxígeno y mezclado imperfecto. Este estudio presenta el diseño y evaluación de un sistema de dos compartimentos (STR-PFR) para simular oscilaciones de oxígeno en cultivos de *Streptomyces clavuligerus* y *Streptomyces* sp. DSM 747, dos especies reconocidas por su producción de metabolitos secundarios. Se evaluó el efecto de la limitación de oxígeno sobre el crecimiento celular, el consumo de sustrato, la absorción de oxígeno y la secreción de dióxido de carbono. Los resultados mostraron que las oscilaciones de oxígeno afectan la estabilidad de la tasa de crecimiento celular y los flujos metabólicos específicos. *S. clavuligerus* presentó una mayor demanda metabólica bajo condiciones de hipoxia; mientras que *Streptomyces* sp. DSM 747 exhibió una mayor estabilidad frente a las fluctuaciones. El sistema STR-PFR demostró ser efectivo para inducir condiciones de baja disponibilidad de oxígeno durante periodos definidos, al reproducir la heterogeneidad típica de bioprocesos industriales. Estos hallazgos

respaldan la utilidad de modelos de simulación tipo *scale-down* de bajo costo como herramienta para el análisis de la fisiología microbiana y para el diseño racional de estrategias de escalado en procesos de fermentación industrial.

*Palabras clave:* *scale-down*, modelación metabólica, bioprocesos, *flux balance analysis*.

## Simulación de escenarios de biorrefinería de residuos de poscosecha e industrialización de la yuca para su aprovechamiento en producción de energía/subproductos

*Daniela Estefanni Chaparro Chaparro, Carlos David Gutiérrez Nieto, Saul Martínez Molina, Leonardo Alexis Alonso*

Universidad de los Llanos

daniela.chaparro.chaparro@unillanos.edu.co, cdgutierrez@unillanos.edu.co, smartinezmolina@unillanos.edu.co, lalonso@unillanos.edu.co

### Resumen

La yuca es un cultivo de gran importancia en Colombia, tanto por su valor alimenticio como por su potencial agroindustrial; sin embargo, su procesamiento genera una cantidad considerable de residuos que, si no se gestiona adecuadamente, pueden causar impactos ambientales negativos. Además, suelen descartarse subproductos con alto potencial de valorización. En respuesta a esta problemática, se plantea el diseño y evaluación de una biorrefinería orientada a transformar estos residuos en productos de valor agregado, promoviendo así una economía circular en zonas rurales productoras de yuca. Esta propuesta busca no solo mitigar los efectos ambientales del modelo actual de producción, sino también generar alternativas sostenibles que optimicen el aprovechamiento integral de la biomasa residual. Como parte del análisis preliminar, se construyó un

estado del arte que permitió identificar estrategias tecnológicas aplicadas a residuos lignocelulósicos y de almidón, como pirólisis, hidrólisis enzimática y fermentación. Estas tecnologías han mostrado eficacia en otros contextos agrícolas, pero se evidenció un vacío en la evaluación comparativa de rutas de valorización aplicadas a residuos derivados de un mismo sistema productivo, especialmente bajo condiciones específicas como las presentes en el territorio colombiano. En este sentido, el presente trabajo propone y compara tres escenarios de biorrefinería con distintos niveles de complejidad tecnológica: 1) un escenario de baja complejidad, basado en el secado y compactación de residuos lignocelulósicos para la producción de biocombustibles sólidos; 2) un escenario de complejidad media, que incorpora procesos de hidrólisis y fermentación alcohólica de residuos de almidón para la obtención de bioetanol, y 3) un escenario de alta complejidad, que integra procesos termoquímicos y bioquímicos para la obtención simultánea de energía, biocombustibles líquidos y coproductos aprovechables. La evaluación técnica de estos escenarios se realizará en dos fases. En la primera, se recopilarán datos y se efectuarán balances de masa y energía empleando herramientas de hoja de cálculo (Excel). En la segunda, se simularán las operaciones unitarias en programas especializados para modelar cada uno de los escenarios de manera integral, con el objetivo de estimar sus deficiencias técnicas y calcular los rendimientos máxicos. Este análisis preliminar permite establecer las bases metodológicas para comparar diferentes rutas de valorización de residuos del proceso de almidón de yuca. Al identificar el escenario más eficiente desde el punto de vista técnico y energético, se busca orientar futuras decisiones de implementación tecnológica en contextos rurales, fortaleciendo la sostenibilidad y el desarrollo territorial basado en la bioeconomía.

*Palabras clave:* biorrefinería, yuca, residuos agroindustriales, economía circular, simulación de procesos.

---

## Inspección y evaluación técnica para el mantenimiento del sistema de pintura anticorrosiva en estructuras metálicas de puentes

*Jaime Armando Pareja Bazán*

JP Proyectos de Recubrimientos SAC  
jpareja@jp-recubrimientos.com

### Resumen

El trabajo tuvo como objetivo delinear un protocolo de ensayos sobre estructuras metálicas de puentes para determinar el estado del sistema de pintura anticorrosiva mediante ensayos destructivos y no destructivos, como tipo y porcentaje de corrosión, ensayos de adherencia por corte y cinta adhesiva, según la norma ASTM D 3359; ensayos de corte según la norma ASTM D 6677; análisis de sales, según la norma ASTM D Guía 15; ensayo de resistencia al solvente; medición de espesores de pintura, según la norma SSPC-PA2; ensayos de tizamiento, e identificación de defectos de aplicación, de fallas prematuras del sistema de pintura y de capas de pintura. Estos ensayos proporcionaron datos para determinar el estado del sistema de pintura anticorrosiva y, así, decidir sobre el mantenimiento de las estructuras de estos puentes metálicos. Los resultados indicaron tres condiciones y recomendaciones finales: 1) el sistema de pintura presenta zonas puntuales con corrosión, por lo que se requiere un mantenimiento puntual en dichas zonas, a fin de restituir el sistema de pintura protector; 2) el sistema de pintura presenta zonas corroídas a un 5 %-10 %, por lo que es preciso restituir el sistema de pintura en dichas zonas y aplicar una capa final general de pintura, y 3) el sistema de pintura perdió las propiedades fisicoquímicas de protección anticorrosiva, por lo que se necesita remover

el total del sistema de pintura y aplicar un nuevo sistema de pintura anticorrosiva, según la normativa y estándares para puentes.

*Palabras clave:* pintura anticorrosiva, puentes metálicos, ensayos destructivos y no destructivos.

## Inactivación de esporas de *Aspergillus niger* en una emulsión lipídica farmacéutica modelo mediante pulsos de alta presión

<sup>1</sup>Gabriel Ascanio Gasca, <sup>2</sup>Maricarmen Iníiguez Moreno,  
<sup>3</sup>Montserrat Calderón Santoyo, <sup>1</sup>Edmundo Brito de  
la Fuente, <sup>3</sup>Juan Arturo Ragazzo Sánchez

<sup>1</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, <sup>2</sup>Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, <sup>3</sup>Instituto Tecnológico de Tepic  
gabriel.ascanio@icat.unam.mx, marimoreno2312@gmail.com,  
mcalderon@tepic.tecnm.mx, ebritodlf@gmail.com,  
jragazzo@tepic.tecnm.mx

### Resumen

La alta presión hidrostática (APH) es un proceso no térmico ampliamente utilizado en la industria alimentaria para reducir las poblaciones microbianas; sin embargo, poco se ha evaluado su efecto en productos con alto contenido de aceite. El presente trabajo reporta los resultados de un estudio sobre la eficacia del uso de altas presiones en la reducción microbiana de una emulsión lipídica modelo. El estudio se llevó a cabo variando la presión (200, 250 y 300 MPa), la temperatura (25, 35 y 45 °C), el número de ciclos (1, 2 o 3) en periodos de 10 minutos. Este estudio demostró que la combinación de APH aplicada en ciclos y temperaturas suaves inactivó las esporas de *Aspergillus niger* en una emulsión lipídica modelo con fines farmacéuticos. La mayor inactivación se alcanzó después de 10 min a 300 MPa y 35 o 45 °C. A 25 °C, la alta

presión aplicada en ciclos de 10 min obedece a la cinética de primer orden; pero el aumento de los modelos no lineales de presión y temperatura (Weibull modificado, trifásico y doble Weibull) proporcionó una mejor descripción de la cinética de inactivación de las esporas de *A. niger*. La implementación del APH a temperaturas suaves representa una alternativa real a los métodos térmicos para la destrucción de esporas fúngicas en emulsiones lipídicas con componentes termosensibles. Como trabajo a futuro, deberían realizarse más estudios para evaluar la APH a temperaturas suaves o como tecnología de barrera para el control de células vegetativas y esporas bacterianas en emulsiones lipídicas, considerando su evaluación con modelos no lineales.

*Palabras clave:* inactivación microbiana, alta presión hidrostática, pulsos.

---

## Biotecnología, bioeconomía, bioindustria

La bioeconomía pasó de promesa a plataforma industrial medible. En la Unión Europea, 2021 cerró con 17.2 millones de empleos y EUR 728 000 millones de valor agregado en sectores biobasados, confirmando su peso estructural en la economía real. Esta biorrevolución combina biología sintética, fermentación de precisión y biocatálisis para producir una fracción creciente de materiales, ingredientes e intermedios. Estudios de McKinsey & Company estiman que hasta el 60 % de los insumos físicos de la economía podrían fabricarse por vías biológicas en los próximos años, con mejoras de desempeño y huella ambiental.

Colombia parte con ventajas únicas: es el país con mayor diversidad de aves y orquídeas y el segundo con mayor biodiversidad total a nivel mundial, base para bioprospección responsable, descubrimiento de enzimas y nuevos bioproductos. La definición oficial adopta la bioeconomía como gestión eficiente y sostenible de biodiversidad y biomasa para generar productos, procesos y servicios de valor agregado. La Misión de Sabios de 2019 fijó una meta país, donde la bioeconomía aporte cerca del 10 % del producto interno bruto y 100 000 empleos a 2030. En este sentido, a continuación son compilados los trabajos en el área.

## Producción de polihidroxialcanoatos en cultivos sumergidos de *Cupriavidus necator* utilizando residuos del beneficio de café

*David Andrés Gómez Ríos, Gustavo Andrés Sanjuan Vanegas,  
María Camila López Agudelo, Howard Diego Ramírez Malule*

Universidad del Valle

david.andres.gomez@correounivalle.edu.co,

gustavo.sanjuan@correounivalle.edu.co,

maria.lopez.agudelo@correounivalle.edu.co,

howard.ramirez@correounivalle.edu.co

### Resumen

La producción de polihidroxibutirato (PHB) mediante *Cupriavidus necator* (*C. necator*) utilizando residuos del beneficio de café como sustrato se evaluó como una alternativa sostenible para la valorización de residuos agroindustriales. Los residuos de café se sometieron a diferentes tiempos de exposición ambiental (0.48 y 72 horas) para analizar su impacto en la producción de PHB. Los resultados mostraron que el jugo fresco (T1) permitió el mayor rendimiento en biomasa (6.30 g/L) y acumulación intracelular de PHB (56.3 %), superando tanto los jugos fermentados como el medio estándar MSM. La caracterización del biopolímero obtenido confirmó su composición como PHB mediante espectroscopía FTIR y su estructura cristalina ortorrómbica mediante difracción de rayos X (XRD), con un grado de cristalinidad del 42 %. Además, el análisis térmico mostró alta estabilidad térmica ( $T_m = 162.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{max} = 468.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), haciéndolo adecuado para aplicaciones industriales. Este estudio resalta el potencial del mucílago y la pulpa de café como sustrato económico y

sostenible para la producción de biopolímeros, promoviendo esquemas de economía circular y contribuyendo a la mitigación de la contaminación plástica.

*Palabras clave:* polihidroxicanoatos, bioplástico, bioproceso, biopolímero, fermentación.

---

## Efecto de las condiciones controladas en la maduración del queso fresco y semiduro de Chumbibamba, Talavera-Andahuaylas

*Florentino Lázaro Mendoza Marín, Zenaida Moscoso  
Altamirano, Factor Risco Guillén, Reyson Álvarez Allcca*

Universidad Nacional José María Arguedas  
flmendoza@unajma.edu.pe, moscosoalze18@gmail.com,  
facthor1214@gmail.com, 101202018@unajma.edu.pe

### Resumen

La investigación se enfoca en aquellos productores de queso regional que buscan mejorar sus necesidades y dar respuesta e impacto socioeconómico a las características de queso regional natural y ecológico. El trabajo pretende contribuir a más de 2323 socios en lácteos en Andahuaylas (agrícola y ganadera) y brindar un queso aceptable, debido a que el pequeño ganadero, utilizando una tecnología básica, procesa la leche y obtiene queso fresco y madurado, mantequilla y manjar blanco. La elaboración de quesos madurados para su comercialización requiere tiempos relativamente largos, lo cual implica contar con cierto capital para lograr darle el tratamiento adecuado a los quesos en condiciones controladas y lograr un producto lácteo de calidad que adquiera características organolépticas típicas de cada clase de queso madurado y aporte mayor cantidad de proteínas, calcio y fósforo que los quesos frescos; además, en la maduración del queso se observan varios cambios: pérdidas de humedad, proteólisis, descarboxilación, lipólisis y

muchas reacciones bioquímicas más relacionadas con el sabor y cambios de textura. Esta investigación comparó condiciones controladas sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas, composición química y sensoriales en la maduración controlada del queso fresco y semiduro de Chumbibamba, Talavera, Andahuaylas, Apurímac (Perú). El muestreo fue probabilístico para la obtención de la unidad de análisis del QF y QS pasteurizado de 400 g en moldes cilíndricos de 400/500 g y radio aproximado a su altura. La muestra total la constituyeron 130 quesos frescos y semiduros de un total de 251 L de leche. Se aplicaron los métodos de análisis fisicoquímicos: humedad, materia grasa, nitrógeno total y acidez titulable; análisis microbiológicos: N. de coliformes, N. de *Escherichia coli*, D. de *Salmonella* sp., N. de *Staphylococcus aureus* y D. de *Listeria monocytogenes*; análisis de composición química: humedad; grasa; cenizas; fibra cruda; carbohidratos; proteínas; energía total; porcentaje de energía (kcal) proveniente de carbohidratos; porcentaje de energía (kcal) proveniente de grasas; porcentaje de energía (kcal) proveniente de proteínas; y análisis sensorial: registro de datos del perfil con una escala tipo Likert. El diseño experimental consistió en comparar QF y QS de 0, 15 y 30 días mediante DCA con una significancia del 5 %, aplicando Anova y LSD. En conclusión, hay efectos, diferencias e igualdades estadísticas en las condiciones controladas en 30 días sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas, composición química y sensoriales en la maduración del queso fresco y semiduro de Chumbibamba, Talavera y Andahuaylas.

*Palabras clave:* sensorial, Likert, queso fresco, queso semiduro, maduración controlada.

---

## Productos de valor agregado a partir de los residuos agroindustriales del aguacate

*Lesly Patricia Tejada Benítez, Leonor Cervantes  
Ceballos, Luz Marina Ramos Torres*

Universidad de Cartagena

ltejedab@unicartagena.edu.co, lcervantesc@unicartagena.edu.co,

lramost2@unicartagena.edu.co

### Resumen

En ambientes tropicales y subtropicales, como la región del Caribe colombiano, la producción comercial de aguacate (*Persea americana* Mill.) se considera una inversión de alto riesgo, debido a las pérdidas ocasionadas por enfermedades pre- y poscosecha, por lo que es necesario usar tecnologías que permitan lograr productos con valor agregado a partir del aguacate y de sus residuos. Se ha reportado que, dependiendo de la especie, el aguacate puede contener un 72 % de pulpa y un 16 % de fracción lipídica, que a su vez puede contener diferentes tipos de aceites, los cuales se usan en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria. Se han encontrado pocas aplicaciones para la semilla y la cáscara, que se tratan como un residuo no aprovechable, a pesar de constituir entre el 21 % y el 30 % de la masa del fruto. En este trabajo se estudió el aprovechamiento sostenible de los residuos de aguacate a través de una biorrefinería. El producto principal fue aceite de aguacate, obtenido por extracción Soxhlet, que mostró estar compuesto por ácidos oleico (62 %), palmitoleico (6 %), linoleico (10 %), linolénico (0.6 %), palmítico (18 %) y esteárico (0.5 %). La cáscara se utilizó para obtener clorofila por extracción con etanol y acetona (entre 24 y 59  $\mu\text{g}/\text{mL}$  de clorofila). El extracto de la semilla se logró por Soxhlet con etanol y posterior evaporación. El extracto se caracterizó y disolvió en agua destilada para la evaluación de sus compuestos bioactivos. Los resultados mostraron que el extracto etanólico de aguacate contiene un 0.5 % de alcaloides, un 0.1 %

de flavonoides, un 0.05 % de fenoles y un 0.2 % de taninos. Además, presentó polifenoles de interés como catequinas, ácido rosmarínico y ácido cafeico. Se concluye que las semillas y las cáscaras del aguacate pueden aprovecharse de manera sustentable, rentabilizando la actividad de los agricultores a través del esquema de biorrefinerías.

*Palabras clave:* aguacate, aceite, residuos.

## Evaluación técnico-económica de una biorrefinería en cascada para el aprovechamiento de la semilla de aguacate Hass del Putumayo (Colombia)

*Anibal Alviz-Meza, Sofía García-Maza,  
Ángel Darío González-Delgado*

Universidad de Cartagena  
anibalalviz@gmail.com, sgarciam@unicartagena.edu.co,  
agonzalezdl@unicartagena.edu.co

### Resumen

La valorización de los residuos agroindustriales a través de biorrefinerías representa un enfoque prometedor para abordar los desafíos duales de la gestión de residuos y la utilización sostenible de los recursos en el sector agrícola. De ahí que sea crucial un análisis técnico-económico de estas biorrefinerías que evalúe su viabilidad y rentabilidad potencial, pues aporta información valiosa a inversores, gobiernos y otras partes interesadas. Este estudio presenta una evaluación técnico-económica en aras de establecer una biorrefinería en Putumayo (Colombia), centrándose en la valorización de la semilla de aguacate Hass (*Persea americana*). Esta región ofrece un potencial sustancial para la utilización de la semilla de aguacate Hass, dada su producción de 1500 t/año de aguacate. El proceso de biorrefinería estudiado implica extraer compuestos de valor

agregado como aceites y fenoles para la obtención de bioproductos. Los enfoques metodológicos utilizados se basaron en la simulación del proceso en Aspen Plus y el análisis de sensibilidad. La evaluación técnico-económica exploró la inversión de capital, los costos operativos y los ingresos potenciales. Se calcularon indicadores técnico-económicos clave como el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR) y el periodo de recuperación para evaluar la viabilidad del proyecto. Los resultados indican que la biorrefinería propuesta alcanzó un VPN positivo y una TIR de más del 10 %, lo que la convierte en una opción financieramente viable. Este trabajo destaca los posibles beneficios económicos de apostar por una biorrefinería a partir de semilla de aguacate Hass de la región amazónica colombiana, contribuyendo al desarrollo económico local y a las prácticas agrícolas sostenibles.

*Palabras clave:* biorrefinería, evaluación técnico-económica, semilla de aguacate Hass, valorización de residuos, región amazónica colombiana.

## Obtención y caracterización de películas bioplásticas biodegradables a partir del almidón de semilla de mango “Tommy Atkins”

<sup>1</sup>Melvin Aroldo Durán Rincón, <sup>1</sup>Valentina Aristizábal Marulanda, <sup>1</sup>Mariana Aguirre Ruiz, <sup>1</sup>Luis Enrique Álzate Zapata, <sup>2</sup>Jeffrey León Pulido

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Pereira, <sup>2</sup>Universidad Ean  
melvin.duran@utp.edu.co, valentina.aristizabal2@utp.edu.co,  
mariana.aguirre@utp.edu.co, jleonp@universidadean.edu.co

### Resumen

El mango es una de las frutas más consumidas en Colombia y en el mundo, debido a su sabor dulce, textura suave y aroma característico; sin embargo, este mismo elevado consumo implica

una gran cantidad de residuos que no se están aprovechando. En este contexto, el trabajo tuvo como objetivo elaborar una película bioplástica degradable a partir del almidón extraído de la semilla de mango de la variedad Tommy Atkins. Para ello, se recolectaron muestras de semillas de mango en la ciudad de Pereira (Colombia), que se secaron, trituraron y tamizaron hasta obtener la cantidad necesaria para el estudio. Posteriormente, se caracterizaron mediante un análisis proximal (humedad, cenizas y materia volátil) y análisis químico (extractivos en agua y etanol, lignina, holocelulosa y celulosa). Luego se extrajo almidón tanto de la semilla entera como del kernel (parte interna de la semilla) para comparar los rendimientos. El almidón obtenido se caracterizó química y estructuralmente determinando su contenido de cenizas, humedad y proteínas, así como mediante espectroscopía de infrarrojo y análisis termogravimétrico. Las películas bioplásticas se formularon utilizando soluciones de almidón extraído combinado con quitosano en diferentes proporciones (30:70, 50:50 y 70:30), añadiendo glicerol como agente plastificante. A cada película se le evaluó su biodegradabilidad, densidad, transparencia, contenido de agua y capacidad de engrosamiento. En la caracterización de la semilla de mango y del kernel los resultados mostraron valores similares a los reportados en la literatura, tanto en el análisis proximal como en el químico. La extracción de almidón a partir del kernel mostró un mayor rendimiento (27.74 %) en comparación con la extracción a partir de la semilla entera (5.75 %), lo que confirma que el kernel es la parte de la semilla con mayor contenido de almidón. La caracterización del almidón reveló contenidos muy bajos de cenizas, humedad y proteínas, lo que indica su alta pureza y calidad. Las películas bioplásticas elaboradas registraron altas densidades, una excelente transparencia y una elevada biodegradabilidad. Se concluye que el kernel de mango de la variedad Tommy Atkins es una excelente materia prima para la extracción de almidón mediante un proceso sencillo y de bajo impacto ambiental, obteniendo un almidón de alta

pureza. Además, los resultados sugieren que el almidón de mango tiene un llamativo potencial para la producción de bioplásticos biodegradables y que contribuye a la valorización de estos residuos agroindustriales.

*Palabras clave:* semilla de mango, kernel, extracción de almidón, película bioplástica.

---

## Efecto de la borra de café (*Coffea arabica* L.) en las propiedades de biopelículas a base de almidón de maíz

*Lourdes Isabel Meriño Stand, Arnold José Aguas  
Zúñiga, María Mercedes Arrieta Beltrán*

Universidad del Atlántico

lourdesmerino@mail.uniatlantico.edu.co, ajaguas@est.uniatlantico.edu.co,  
mmercedesarrieta@mail.uniatlantico.edu.co

### Resumen

El consumo global de café está asociado con la generación masiva de residuos, especialmente durante la preparación de bebidas a partir de granos molidos. Uno de los resultantes, conocido como “borra de café”, ha sido objeto de estudio en los últimos años y se considera un valioso recurso en el ámbito de los plásticos, en particular como agente de refuerzo para los biopolímeros. La gestión adecuada de la borra de café y su utilización como refuerzo en los biocompuestos basados en almidón de maíz aún plantean interrogantes y limitaciones en la literatura científica, por lo que este estudio busca evaluar cómo la inclusión de la borra de café, tras someterse a diversos tratamientos, afecta las propiedades de las películas basadas en almidón de maíz y determinar si esta inclusión puede mejorar las propiedades de los biopolímeros y, por lo tanto, contribuir a la producción de materiales más sostenibles. El estudio involucra la aplicación de distintos tratamientos

a la borra de café que incluyen la reducción de tamaño de partícula, el tratamiento alcalino y la extracción de aceite. Las propiedades de las biopelículas se analizan comparando con películas de almidón de maíz puro. Los resultados indican que el tratamiento de reducción de tamaño de partícula repercute en las propiedades de las películas y sugieren que la inclusión de la borra tiene el potencial de mejorar considerablemente las propiedades del polímero natural, lo que abre nuevas perspectivas para la producción de compuestos ecológicos sostenibles y aborda la gestión de residuos en la industria cafetera.

*Palabras clave:* almidón termoplástico, biocompuesto, desecho agroindustrial, residuo orgánico.

## Valorización de residuos alimentarios: desarrollo de un fertilizante hidrolizado para la recuperación de suelos degradados

*Heiner Herrera, Jonathan Velásquez, José Escorcía, Juan Negrete, Henry A. Lambis Miranda, Alfredo Pájaro Garzón*

Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco  
invest.ing.procesos@tecnologicocomfenalco.edu.co,  
henry.lambis@tecnologicocomfenalco.edu.co,  
apajarog@tecnocomfenalco.edu.co

### Resumen

Este estudio presenta una estrategia innovadora para valorizar residuos alimentarios y transformarlos en un fertilizante orgánico líquido. Mediante un proceso de hidrólisis enzimática optimizado en un biorreactor de 3 litros y utilizando un inóculo de lodos activados, se logró obtener un fertilizante rico en nutrientes biodisponibles. El producto final cumple con los estándares de calidad establecidos en la NTC 5167:2022. Esta alternativa sostenible ofrece una solución viable para

contrarrestar los efectos negativos de la sobreexplotación del suelo, fomenta prácticas de agricultura regenerativa y contribuye al desarrollo de una economía circular. Además de los beneficios ambientales, la valorización de residuos alimentarios genera valor económico y social, convirtiendo un problema en una oportunidad. Este enfoque no solo reduce la cantidad de residuos destinados a vertederos a cielo abierto, sino que también proporciona una fuente de nutrientes esencial para la agricultura, pues cierra el ciclo de los materiales y promueve un sistema alimentario más sostenible.

*Palabras clave:* valorización, residuos, biorreactor, fertilizante, economía circular.

---

## Diseño conceptual de la recuperación de galactooligosacáridos (GOS) de hidrolizados enzimáticos por adsorción con carbón activado

*<sup>1</sup>Juan Sebastián Delgado Burgos, <sup>2</sup>Julián Felipe Duque Romero, <sup>1</sup>Juan Carlos Serrato Bermúdez, <sup>1</sup>Mario Andrés Noriega Valencia, <sup>2</sup>Germán Andrés Castro Moreno*

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá), <sup>2</sup>Universidad de La Salle  
jdelgadobu@unal.edu.co, juduque37@unisalle.edu.co,  
jcserratob@unal.edu.co, manoriegava@unal.edu.co, gacastro@unisalle.edu.co

### Resumen

Los galactooligosacáridos (GOS) son prebióticos compuestos por unidades de galactosa y glucosa con propiedades benéficas para la salud intestinal y se usan en la formulación de alimentos funcionales. Estos compuestos pueden integrarse en el esquema de la lactobiorrefinería para la valorización del lactosuero, debido a que se obtienen mediante la transgalactosilación de la lactosa del lactosuero. No obstante, este proceso resulta en una mezcla de GOS con otros carbohidratos

residuales que reducen su pureza, propiedades funcionales y valor económico, por lo que es importante encontrar tecnologías para su posterior purificación. La separación de GOS mediante la adsorción con carbón activado es promisorio, por ser económica, escalable y eficaz; seguida de un proceso de desorción con etanol, lo cual podría resultar en mezclas con purezas de hasta un 95 % de GOS. En esta investigación se diseñó un sistema de purificación de GOS obtenidos por síntesis enzimática mediante la adsorción y desorción del sistema GOS-carbón activado-agua. Utilizando el modelo de Langmuir-Hinshelwood, se obtuvieron 12 isotermas de adsorción y desorción a temperaturas de 20, 30 y 40 °C, variando la concentración inicial de los GOS y el volumen de etanol 50 % v/v. El tiempo de equilibrio de adsorción y desorción fue de 120 min, y se obtuvieron las constantes de velocidad de ambos procesos mediante una cinética de primer orden:  $0.0149 \text{ min}^{-1}$  y  $0.0063 \text{ min}^{-1}$  para la adsorción y la desorción de GOS, respectivamente. Las mejores condiciones de adsorción fueron 30 °C con 5 % de GOS, alcanzando una recuperación del 76 % de GOS. Las mejores condiciones en la desorción fueron 30 °C y 200 mL de etanol, donde se logró una recuperación del 27 % de los GOS retenidos y la fracción de GOS en base seca fue de 0.83. Se determinaron los parámetros cinéticos de adsorción y desorción, para la adsorción la concentración máxima adsorbible y la constante de adsorción de los GOS fueron de 0.1428 g/g y 12.77 L/g, respectivamente. Los valores obtenidos en la desorción fueron de 0.1906 g/g y 115.1 L/g. También se presenta el análisis termodinámico de la constante de adsorción y desorción mediante la ecuación de Arrhenius. Con las isotermas se determinó que se requieren 6 etapas teóricas de adsorción y desorción. Finalmente, se obtuvo la tabla de balances de materia, la tabla de diseño de equipos auxiliares de proceso y se realizó el PFD conceptual

para el proceso escalado, en el cual se obtiene como producto final una solución de GOS al 64 % con un 83 % de fracción másica en base seca.

*Palabras clave:* lactosuero, galactooligosacáridos (GOS), isoterma de adsorción, carbón activado, purificación.

## Evaluación comparativa de la extracción de ácido giberélico a partir de residuos de cebolla en rama cultivada en Pereira (Colombia)

<sup>1</sup>Jessica Leandra Márquez Agudelo, <sup>1</sup>Yordan Steven López Calle, <sup>1</sup>Myriam Quintero-Naucil, <sup>2</sup>Francisco Javier Jiménez-González, <sup>1</sup>Valentina Aristizábal-Marulanda

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Desarrollo de Procesos Químicos, Escuela de Tecnología Química, Facultad de Tecnología, Universidad Tecnológica de Pereira, <sup>2</sup>Grupo de Investigación Polifenoles, Escuela de Tecnología Química, Facultad de Tecnología, Universidad Tecnológica de Pereira  
jessica.marquez@utp.edu.co, yordan.lopez@utp.edu.co,  
myriam.0118@utp.edu.co, jjimenez@utp.edu.co,  
valentina.aristizabal2@utp.edu.co

### Resumen

El aprovechamiento de residuos agroindustriales se presenta como una estrategia para la sostenibilidad y generación de productos con alto valor agregado. En este contexto, la presente investigación evaluó la viabilidad experimental y tecnoeconómica de la extracción de ácido giberélico (GA3) a partir de residuos de cebolla de rama (*Allium fistulosum* L.) cultivada en Pereira (Colombia). El GA3 es una fitohormona esencial en el desarrollo de las plantas, ya que regula procesos como germinación, crecimiento y floración. Actualmente, la producción industrial de GA3 se realiza mediante fermentación del hongo *Gibberella fujikuroi*, un proceso con altos costos y limitaciones tecnológicas. El presente estudio incluyó la

caracterización fisicoquímica de la materia prima, la evaluación de dos metodologías de extracción (solventes orgánicos e hidrocavitación), el efecto fitoestimulante en la germinación y el análisis tecnoeconómico del proceso. El GA3 se caracterizó mediante cromatografía en capa delgada (CCD) y la cuantificación por espectrofotometría UV-Vis y HPLC. Además, se modeló el proceso en Aspen Plus V10 para evaluar su viabilidad industrial. Por medio de la CCD se confirmó la presencia de GA3 en los extractos. Los resultados de HPLC indicaron que la extracción con solventes orgánicos, etanol y una mezcla de metanol-ácido fórmico (80:20) permitió concentraciones de  $5.45 \pm 0.55 \%$  y  $3.33 \pm 0.21 \%$  de GA3, respectivamente. Entre tanto, con la extracción por hidrocavitación se obtuvo una concentración de  $34.40 \pm 0.62 \%$ . En el proceso, la extracción por hidrocavitación presentó un rendimiento absoluto de GA3 de 4.60 kg/h frente a 1.75 kg/h de la extracción convencional; sin embargo, requirió un consumo significativo de solventes y energía. El efecto fitoestimulante del extracto etanólico (44.4 %) mostró mayor germinación de semillas de *Lactuca sativa* que el control de GA3 (25.93 %) a las 72 h, a 1 mg/mL. Desde un punto de vista tecnoeconómico, el análisis comparativo de ambas técnicas mostró que, aun cuando la cavitación hidrodinámica mejora la recuperación del compuesto, su alto consumo de solventes y energía afecta su viabilidad económica. El análisis económico mostró que la extracción con solventes convencionales tuvo un costo de operación (OPEX) de 2.14 MUSD/año y un costo de inversión (CAPEX) de 0.16 MUSD; mientras que la cavitación hidrodinámica presentó un OPEX de 20.95 MUSD/año y un CAPEX de 0.36 MUSD. Esto evidencia que aun cuando la hidrocavitación produce más GA3, sus costos elevados afectan su rentabilidad, haciendo más viable la extracción convencional a pequeña escala. En contraste, la extracción con solventes convencionales, si bien tiene un rendimiento menor, podría ser más rentable en aplicaciones a pequeña escala. La simulación permitió identificar los parámetros críticos del

proceso y plantear estrategias para mejorar el desempeño de la eficiencia de extracción y reducir costos operativos. En conclusión, este estudio demuestra que los residuos de cebolla de rama pueden ser una fuente viable para la obtención de GA3, contribuyendo al desarrollo de procesos sostenibles y aprovechamiento de residuos. Se recomienda continuar con investigaciones enfocadas en la optimización del proceso de extracción, la reducción del consumo de solventes y la mejora de la eficiencia energética para facilitar su escalabilidad en el sector agrícola y biotecnológico.

*Palabras clave:* análisis tecnoeconómico, extracción de compuestos bioactivos, fitoestimulantes de germinación, GA3.

---

## Aislamiento de levaduras de la cáscara de piña (Golden y Perolera) con uso potencial en una matriz cervecera

*Laura Katherine Guarín Lizarazo, Germán Andrés Castro Moreno*

Universidad de La Salle  
lguarin49@unisalle.edu.co, gacastro@unisalle.edu.co

### Resumen

La gestión de residuos sólidos presenta un desafío con implicaciones ambientales, económicas y sociales. En este contexto, el aprovechamiento de residuos agroindustriales ha cobrado especial importancia, ya sea como insumo en la alimentación animal o mediante el estudio de su microbioma en la aplicación industrial. En particular, la industria cervecera ha mostrado un creciente interés en el uso de levaduras no convencionales para mejorar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la cerveza. No obstante, las limitadas investigaciones en la materia han frenado la incorporación de levaduras no convencionales o autóctonas en la industria. Este es el caso

de la cáscara de piña, pues para este residuo que representa entre el 29 % y el 40 % del fruto no se ha establecido un protocolo estándar que garantice una adecuada extracción del microbioma, a pesar de que las investigaciones apoyan su potencial biotecnológico. Este estudio propone y evalúa un método para aislar levaduras con potencial cervecero a partir de cáscaras de piña de las variedades Golden y Perolera, las más representativas en Colombia, y resalta la importancia de la biotecnología en el desarrollo de la industria cervecera colombiana, así como su apoyo en los Objetivos de Desarrollo Sostenible determinados para el país. Para ello, se diseñó un experimento factorial 2k con cuatro tratamientos, combinando ambas variedades con dos opciones extracción: solución salina y fermentación espontánea. Se emplearon medios selectivos como Agar MEA con cloranfenicol y Agar YPD con distintos suplementos (cloranfenicol y etanol al 4 %, 6 % y 8 % v/v), evaluando el crecimiento de las levaduras en cada condición. Los resultados mostraron que la variedad de piña influye significativamente en la calidad y cantidad de las levaduras aisladas, siendo destacada la variedad Golden; mientras que la forma de extraer las levaduras no tuvo un impacto directo en la diversidad obtenida. Sin embargo, la fermentación espontánea demostró ser más resistente a la contaminación, lo que la convierte en la opción más viable para el aislamiento de levaduras con potencial cervecero. Para validar su aplicación en la producción de cerveza, se elaboró una cerveza tipo Ale de baja graduación alcohólica con una concentración de  $7 \times 10^6$  UFC/mL de las levaduras aisladas, obteniendo un grado alcohólico de 3.4 %, acorde a estilos Scottish Ale. Se espera que, mediante un proceso de purificación más preciso de las levaduras seleccionadas, se logren concentraciones de alcohol más acordes con los estándares de este tipo de cerveza. En conclusión, el aislamiento de levaduras a partir de cáscaras de piña de la variedad Golden mediante fermentación espontánea representa una estrategia prometedora para la industria cervecera y sienta las bases para futuras investigaciones en

selección y caracterización de levaduras no convencionales provenientes de residuos agroindustriales colombianos.

*Palabras clave:* aislamiento de levaduras, biotecnología, cervecería artesanal, levaduras no convencionales, medios selectivos.

## Obtención de extractos ricos en compuestos fenólicos de corteza de pino y de eucalipto mediante extracción con agua subcrítica

*Ana Lucía Xavier Saavedra, Leonardo Clavijo, Justina Pisani, Fernando De Maio, Fabián Bermúdez, Berta Zecchi*

Universidad de la República

luxavier@fing.edu.uy, lcalvijo@fing.edu.uy, jpisani@fing.edu.uy,

fdemaio2@gmail.com, fabianbermudez1309@gmail.com, bertaz@fing.edu.uy

### Resumen

El mercado global de taninos sigue en crecimiento, y su aplicación abarca industrias como curtido de cuero, adhesivos, vinos, alimentos, cosmética y farmacia. Los taninos representan una alternativa sostenible en la formulación de adhesivos para madera contrachapada, ya que reducen la cantidad de resina fenol-formaldehído, disminuyen las emisiones tóxicas y optimizan costos. Además, sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes permiten aplicaciones en la conservación de alimentos, tratamiento de madera, biopesticidas y salud animal. Sin embargo, los métodos tradicionales de extracción sólido-líquido son costosos y poco sostenibles, impulsando el desarrollo de tecnologías más eficientes. La extracción con agua subcrítica surge como una alternativa prometedora por su rapidez y menor uso de solventes. En Uruguay, la industria forestal genera residuos como corteza de pino (CP) y eucalipto (CE), generalmente destinados a la quema. El reto actual es desarrollar tecnologías de extracción sostenibles que

maximicen la recuperación de compuestos fenólicos o taninos y su aplicación en adhesivos, antioxidantes y antimicrobianos, promoviendo el aprovechamiento de estos subproductos agroindustriales. En este estudio, se analizaron la CP (*Pinus taeda*) y la CE (*Eucalyptus grandis*) como fuentes potenciales de compuestos fenólicos y antioxidantes. Se obtuvieron extractos mediante extracción con agua subcrítica (115 °C, 10 bar) bajo distintas condiciones operativas para evaluar su rendimiento de extracción, contenido fenólico, número de Stiasny, contenido de taninos y actividad antioxidante FRAP. Para la CP, se estudiaron el tamaño de partícula (0.6-1 mm y 1-10 mm), la relación sólido/líquido (1/10 y 1/15) y el tiempo de extracción (30, 60 y 120 min); mientras que para la CE se evaluó el efecto del tiempo de extracción. En general, la CP mostró mayores rendimientos de extracción, actividad antioxidante, contenido total de fenoles y taninos en comparación con la CE. Se observó que un aumento en el tiempo de extracción, tamaño de partícula y relación sólido/líquido tuvo un efecto positivo en la mayoría de las variables estudiadas. Los rendimientos de extracción variaron entre 6.52 y 9.10 g/100 g CP y entre 3.49 y 4.89 g/100 g CE. El contenido de fenoles totales osciló entre 10.28 y 23.79 mg equivalente de ácido gálico (EAG)/g CP y entre 9.38 y 11.32 mg EAG/g CE. El número de Stiasny varió entre 25.83 % y 43.66 % en CP y entre 25.34 % y 27.49 % en CE. Solo en la CP se detectaron taninos condensados por el método de vanillina (3.96-13.22 mg de equivalente de catequina/g CP). La actividad antioxidante FRAP osciló entre 4.81 y 12.61 mmol equivalente de ácido ascórbico (EAA)/100 g CP y entre 5.62 y 6.89 mmol EAA/100 g CE. Estos resultados confirman el potencial de

estos residuos como fuente de compuestos fenólicos y antioxidantes, destacando la extracción con agua subcrítica como una estrategia eficiente y sostenible para su valorización.

*Palabras clave:* corteza de pino, corteza de eucalipto, extracción con agua subcrítica, compuestos fenólicos, actividad antioxidante.

## Producción de ácido láctico a partir de suero: efecto del pretratamiento enzimático y la fuente de nitrógeno

*Óscar Eduardo Rojas Quimbaya, Laura Viviana Cuervo Garcés, Juan Carlos Serrato Bermúdez*

Universidad Nacional de Colombia  
oerojasq@unal.edu.co, lcuervog@unal.edu.co, jcserratob@unal.edu.co

### Resumen

La valorización biotecnológica del suero de leche como sustrato para la producción de ácido láctico representa una estrategia clave dentro de la transición hacia una bioeconomía circular, al fomentar el aprovechamiento integral de residuos agroindustriales ricos en compuestos orgánicos fermentables. Este enfoque no solo permite la mitigación del impacto ambiental asociado al desecho de lactosuero, sino que también impulsa la generación de productos de alto valor añadido en el contexto de la biotecnología industrial. En este trabajo se investigó el efecto combinado de tres factores operacionales sobre el desempeño del proceso fermentativo: 1) el pretratamiento enzimático de hidrólisis de lactosa, 2) la concentración inicial de carbohidratos en el medio y 3) la fuente de nitrógeno suplementaria. Para ello, se empleó un cocultivo sinérgico de *Lactobacillus helveticus* y *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *lactis*, en condiciones controladas de temperatura, pH y agitación. El diseño experimental abarcó un amplio rango de concentraciones de lactosa (90 a 220

g/L), dos niveles extremos de hidrólisis previa (0 % y 100 %) y dos fuentes de nitrógeno: extracto de levadura y proteína láctea. Los resultados mostraron que tanto la concentración de lactosa como el grado de hidrólisis influyeron de forma significativa ( $p < 0.0001$ ) en la producción final de ácido láctico; además, se identificó una interacción estadísticamente relevante entre ambas variables. Se observó que el incremento en la concentración de lactosa aumentó la producción de ácido; sin embargo, este efecto se vio atenuado cuando se aplicó una hidrólisis completa del sustrato, especialmente en los niveles más altos del disacárido, debido a una posible acumulación de glucosa y galactosa, asociada a represión catabólica o inhibición metabólica del cocultivo. Desde la perspectiva cinética, el pretratamiento enzimático demostró ser una estrategia eficiente para reducir los tiempos totales de fermentación, al lograr disminuciones de más de 48 horas, dependiendo de la carga inicial de sustrato. En relación con la fuente de nitrógeno, el extracto de levadura superó la proteína láctea y permitió alcanzar mayores concentraciones de ácido láctico y tiempos más cortos de fermentación. Esta diferencia se atribuye a la mayor biodisponibilidad de nutrientes en el extracto de levadura, que incluye aminoácidos esenciales, vitaminas del complejo B y oligoelementos, claves para el desarrollo y actividad metabólica de bacterias ácido-lácticas. Además, su alta solubilidad favorece una distribución uniforme y una rápida asimilación por parte del microorganismo. Finalmente, los hallazgos de este estudio destacan la importancia de una visión integral en el diseño de medios de cultivo y condiciones operacionales para procesos fermentativos. Comprender la dinámica de consumo de azúcares y la influencia de la nutrición en la cinética microbiana permite trazar estrategias de control más robustas y reproducibles, con potencial de escalamiento industrial. Esta investigación aporta evidencia sustancial para el desarrollo de procesos sostenibles basados en la bioconversión de residuos lácteos, alineados con los

principios de economía circular y generación de valor desde subproductos alimentarios.

*Palabras clave:* hidrólisis enzimática, fermentación láctica, suero de leche, cocultivo, ácido láctico.

## Evaluación del aprovechamiento de residuos de la industria de alimentos procesados como fuente de almidón para la producción de biopolímeros

*<sup>1</sup>Luz Adriana Castillo, <sup>2</sup>Paola Andrea Acevedo Pabón, <sup>1</sup>Luis Eduardo Díaz, <sup>1</sup>Manuel Fernando Valero Valdivieso, <sup>1</sup>Iván Orlando Cabeza Rojas, <sup>2</sup>Diana Angélica Varela Martínez*

<sup>1</sup>Universidad de La Sabana, <sup>2</sup>Universidad Ean  
luzcaci@unisabana.edu.co, paacevedo@universidadean.edu.co,  
luis.diaz1@unisabana.edu.co, manuel.valero@unisabana.edu.co,  
ivan.cabeza@unisabana.edu.co, davarela@universidadean.edu.co

### Resumen

En los últimos años, la producción global de plásticos ha aumentado considerablemente, al punto de alcanzar 482 millones de toneladas en 2022, impulsada principalmente por su uso en empaques (32 %). Sin embargo, solo el 10 % de los plásticos desechados se recicla; mientras que el resto termina en vertederos o se incinera, con lo que se libera dióxido de carbono y se suma al cambio climático. Además, la ingesta de microplásticos plantea riesgos para la salud humana. Ante esta problemática, existe una creciente necesidad de desarrollar materiales biodegradables y de origen renovable, como los bioplásticos. Estos se componen de biopolímeros como PHA, PLA, PHB, poliamida 11 y materiales derivados del almidón, la celulosa y las proteínas. El almidón destaca por su abundancia y bajo costo (5.7 % de la capacidad mundial de plásticos), aunque su adopción se ve limitada por su baja resistencia mecánica e

hidrofilicidad. La industria alimentaria genera grandes cantidades de residuos agroindustriales, subutilizados en países como Colombia, donde la agroindustria de la papa aprovecha solo el 40 %-50 % de su materia prima. Estos residuos, con un contenido de almidón del 8 %-20 %, representan una fuente potencial para la producción de biopolímeros. Este estudio se centró en determinar las propiedades fisicoquímicas de residuos de la industria de procesamiento de papa y plátano (papa de descarte, cáscara de papa, viruta de plátano y cáscara de plátano) para la generación de biopolímeros. Se identificó la papa de descarte como el residuo con mayor potencial por su contenido de almidón. Mediante un diseño experimental Box-Behnken y la metodología de superficie de respuesta (RSM), se evaluó la influencia de la relación muestra/agua (1:2, 1:3 y 1:4 p/v), la temperatura de extracción (20 °C, 30 °C y 40 °C) y la concentración de ácido cítrico (0 %, 3 % y 6 %) en el rendimiento y la pureza de la extracción de almidón. La caracterización fisicoquímica incluyó la determinación de humedad, cenizas, celulosa, grasa bruta, fibra y proteína brutas para estimar el contenido de almidón. Los análisis se realizaron trimestralmente con muestras por triplicado. Los resultados mostraron que el ácido cítrico influyó significativamente en el rendimiento y la pureza del almidón. Las condiciones óptimas de extracción (30 °C, relación 1:2 p/v y 3 % de ácido cítrico) permitieron obtener un rendimiento del 11 %-12 % con una pureza del 84.6 %. En conclusión, este estudio identificó las condiciones óptimas para la recuperación de almidón a partir de papas descartadas, lo que respalda la viabilidad técnica de utilizar estos residuos agroindustriales en la producción de biopolímeros, ya que ofrece una alternativa sostenible para el sector alimentario.

*Palabras clave:* extracción de almidón, biopolímeros, economía circular, sostenibilidad.

---

## Transformando residuos de coco en energía: innovaciones en biodigestión anaerobia para la sostenibilidad rural

*Ana Katherine Díaz Durán, Diego Andrés Cárdenas Ordóñez, Sneider Nicolás Robles Porras, Sandra del Pilar Forero Poveda, Marie José Chery Leal, Elizabeth León Velásquez, Johanna Karina Solano Meza*

Universidad Ean, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia [jksolano@universidadean.edu.co](mailto:jksolano@universidadean.edu.co)

### Resumen

La biodigestión anaerobia de residuos lignocelulósicos representa un desafío clave en la generación de energía renovable, debido a su compleja estructura y baja biodegradabilidad. En este estudio se evaluó el potencial de producción de metano a partir de residuos de coco, específicamente concha y estopa, con el objetivo de optimizar su degradación y maximizar su aprovechamiento energético. Para ello, se diseñó un experimento enfocado en optimizar la relación sustrato-inóculo y el tamaño de partícula, por medio del cual se determinó que las condiciones óptimas para el proceso fueron un tamaño de partícula de 850  $\mu\text{m}$  y una relación sustrato-inóculo de 1:2. Como inóculo se empleó estiércol de vaca y un inóculo pretratado proveniente de una planta de procesamiento de palma de aceite en Tumaco (Colombia), a fin de mejorar la eficiencia del proceso y adaptar la tecnología a condiciones locales. El análisis de producción de metano evidenció que la combinación de una adecuada selección de inóculo y el control de variables operativas clave permitió superar las barreras asociadas a la degradación de sustratos lignocelulósicos. Se registraron incrementos significativos en la producción de biogás bajo las condiciones óptimas establecidas y se confirmó el potencial de los residuos de coco como fuente viable para la generación de energía renovable. Estos hallazgos sugieren que la implementación de esta tecnología podría aplicarse en

micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes) rurales, para promover la sostenibilidad energética y reducir la dependencia de combustibles fósiles. Los resultados obtenidos respaldan la valorización de residuos agroindustriales a través de la biodigestión anaerobia, alineándose con los principios de la economía circular y fomentando el aprovechamiento de subproductos de la industria alimentaria. Este estudio demuestra que la optimización de parámetros operativos es fundamental para mejorar la eficiencia de los procesos de conversión energética y su aplicabilidad en la transición hacia modelos energéticos sostenibles. La generación de biogás a partir de residuos de coco no solo representa una alternativa viable para la producción de energía limpia, sino que también contribuye a reducir el impacto ambiental y a fortalecer la economía rural mediante el uso eficiente de desechos agroindustriales.

*Palabras clave:* biodigestión anaerobia, residuos lignocelulósicos, biogás, sostenibilidad energética, economía circular.

---

## Innovación para la adaptación climática: modelos para la generación de resultados de mitigación internacionalmente transferibles

*<sup>1</sup>Karem Daniela Flórez López, <sup>2</sup>Jaime Andrés Gil  
Morales, <sup>3</sup>Johanna Karina Solano Meza*

<sup>1</sup>Universidad ECCI, <sup>2</sup>Universidad Distrital Francisco José de Caldas,

<sup>3</sup>Universidad Ean

karemd.florezl@ecc.edu.co, jagilm@udistrital.edu.co,

jksolano@universidadean.edu.co

### Resumen

El cambio climático representa uno de los desafíos más críticos actualmente y requiere estrategias de colaboración internacional, institucional y de gobernanza para apoyar los posibles

impactos a las comunidades y ecosistemas vulnerables. Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se han identificado como una de las causas de este fenómeno. Por ello, se necesitan medidas de mitigación para minimizar efectos tanto en el medio ambiente como en la sociedad. Por lo anterior, esta investigación presenta una alternativa metodológica para atenuar las emisiones de GEI, con el objetivo de crear mitigaciones internacionalmente transferibles (ITMO) en un plazo de 10 años. Para lograr la creación de ITMO y verificar la viabilidad de la metodología se seleccionó un humedal como prueba piloto, e incluye la identificación y estimación de las emisiones generadas por actividades humanas y naturales. Este desarrollo mide y cuantifica las emisiones de GEI y el potencial de absorción de carbono, como se demuestra en el caso de estudio, utilizando herramientas de modelación y análisis, y se convierte en un herramienta factible y aplicable a zonas con condiciones similares. Los resultados obtenidos son fundamentales para crear créditos de carbono, ya que los humedales son reconocidos como importantes sumideros naturales. Para ello, la metodología integró tres herramientas: modelo de emisiones de GEI, modelo de costos de restauración y modelo de captura de carbono. Como parte del análisis de datos, se desarrolló una herramienta en Visual Basic por medio de la cual calcular variables para la evaluación de la variabilidad económica de la restauración y obtener hallazgos relevantes para la toma de decisiones, integrando los beneficios ambientales. Finalmente, se utilizó el *software* OpenLCA, que evalúa el ciclo de vida de los procesos ecosistémicos. A través de este análisis, fue posible determinar el impacto ambiental de las acciones de restauración y la mitigación de emisiones de GEI, basándose en información detallada y sistematizada.

*Palabras clave:* gases de efecto invernadero, resultados de mitigación internacionalmente transferibles, cambio climático, humedal.

---

## Extracción asistida por ultrasonido de biocompuestos del aceite de palma alto oleico utilizando bioetanol

<sup>1</sup>Hamilton David Carrillo Meriño, <sup>1</sup>Juan Sebastián Robelto Cordero, <sup>1</sup>Valeria Riveros Parra, <sup>1</sup>Bernay Cifuentes, <sup>2</sup>José L. Guerrero, <sup>2</sup>Jesús Alberto García-Núñez

<sup>1</sup>Universidad de La Salle, <sup>2</sup>Cenipalma  
hcarrillo@unisalle.edu.co, jrobelto56@unisalle.edu.co,  
vriveros39@unisalle.edu.co, bcifuentes@unisalle.edu.co,  
jguerrero@cenipalma.org, jgarcia@cenipalma.org

### Resumen

El aceite de palma, particularmente el híbrido interespecífico O×G (*Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés × *Elaeis guineensis* Jacq.), es una fuente valiosa de ácidos grasos monoinsaturados y compuestos bioactivos como carotenos (principalmente β-caroteno), tocoferoles, escualeno y fitoesteroles. Colombia, como cuarto productor mundial con una producción anual de 1.7 millones de toneladas, tiene un gran potencial para aprovechar económicamente estos biocompuestos. Sin embargo, el principal desafío tecnológico radica en desarrollar procesos de extracción sostenibles que preserven la calidad del aceite crudo (de aquí en adelante alto oleico-HOPO) para sus diversos usos industriales. Tradicionalmente, en la extracción de biomoléculas del HOPO se emplea solventes orgánicos tóxicos como hexano y metanol. Como alternativa, este estudio evaluó un proceso de extracción líquido-líquido asistido por ultrasonido utilizando bioetanol al 96 %, que resulta hasta 10 veces más económico que el etanol anhidro y menos dañino que los solventes tradicionales. Para ello, el aceite y los extractos se caracterizaron por cromatografía líquida con detector de fluorescencia (HPLC-FLD/DAD) y espectroscopía UV-VIS. Además, se estudiaron variables operacionales como temperatura, potencia ultrasónica, relación etanol/aceite y tiempo de extracción, usando una metodología de superficies de

respuesta. Se obtuvieron extractos etanólicos no concentrados de hasta  $306.1 \pm 33$  mg/L de  $\beta$ -caroteno, junto con fracciones menores de otras biomoléculas, que superan los métodos convencionales sin asistencia. Este avance tecnológico valida el potencial del bioetanol no azeotrópico como un solvente sostenible para el aprovechamiento del HOPO.

*Palabras clave:* carotenos, extracción líquido-líquido, superficies de respuesta, solventes verdes.

## Uso integral del fruto del corozo (*Bactris guineensis*) como materia prima en biorrefinerías

*Steffy Geraldine Fernández González, Judith Zamara Castro Estupiñán, Andrea Katerine Morales Ballesteros, Leonardo Augusto Sandoval Velandia, Julio César Vargas Sáenz, Liliana Ávila Martín*

Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá)  
stfernandezg@unal.edu.co, jucastroe@unal.edu.co,  
anmoralesba@unal.edu.co, jcvargass@unal.edu.co, lavilam@unal.edu.co

### Resumen

El procesamiento de los frutos de las palmeras constituye un recurso oleaginoso valioso para producir aceites y biocombustibles. En Colombia, el recurso oleaginoso más utilizado es la palma africana (*Elaeis guineensis*). En otros países latinoamericanos, como Brasil, Argentina y Paraguay, se está utilizando a nivel industrial otra planta de la familia de las aráceas (Arecaceae), la macauba (*Acrocomia aculeata*), conocida también como corozo o corozo amarillo en Colombia, como fuente de aceite vegetal para la producción de metiléster o biodiésel. De la misma familia de las aráceas (Arecaceae), en la zonas de clima tropical de Colombia se encuentran cultivos no industriales y de baja comercialización del denominado

corozo o corozo rojo (*Bactris guineensis*), el cual principalmente se usa para la obtención de jugo de corozo, a diferencia del uso agroindustrial en Brasil, Costa Rica o Paraguay. En este trabajo se utiliza el fruto del corozo rojo como biomasa aprovechable como fuente de biorrefinería, lo que incluye la adecuación de la materia prima, la obtención de subproductos y la caracterización de propiedades fisicoquímicas. El fruto del corozo, que se obtuvo de Lorica (Córdoba), se sometió a calentamiento en agua a 92 °C durante 3 h para separar la cáscara, la pulpa y la semilla, que se someten a un secado a 60 °C por 48 h. Para separar los restos de pulpa y la cascarilla, y para obtener la almendra, se utiliza un proceso de molienda y tamizado. El fruto del corozo (100 % p) está compuesto por una cáscara (50.76 % p/p), la pulpa (9.23 % p/p) y la semilla (40.04 % p/p). La semilla del corozo está constituida por un 52.78 % p/p de cascarilla y un 47.21 % p/p de almendra. La almendra se tritura para reducir el tamaño de partícula (malla 12) y se somete a la extracción del aceite utilizando dos métodos: prensado a 45 °C y extracción con solventes, etanol y heptano. La extracción con heptano como solvente presentó un rendimiento superior (39.15 %), y con etanol (14.2 %), inferior al obtenido por prensado (20.91 %). Las principales propiedades fisicoquímicas evaluadas para el aceite fueron la densidad (0.9055 g/mL), el índice de refracción (1.4520), la viscosidad cinemática a 40 °C (31.764 cst), el punto de niebla (29.23 °C), el punto de fusión (30 °C), el contenido de humedad (0.086 %), el índice de saponificación (196.84 mg KOH/g de muestra) y la acidez titulable (2.593 mg KOH/g de muestra). La identificación de los grupos y el perfil de ácidos grasos se identificaron por espectrofotometría infrarroja de módulo ATR y se cuantificaron por cromatografía de gases. De la caracterización fisicoquímica de los diferentes constituyentes del fruto del corozo rojo (*Bactris guineensis*), se puede concluir que representa una materia prima con alto potencial de aprovechamiento en biorrefinerías, incluyendo la producción de jugo, para la fabricación de vino y otras bebidas alcohólicas;

adicionalmente, puede emplearse para la obtención de aceite, harina, cascarilla, de alto contenido lignocelulósico, materia prima para la obtención de materiales absorbentes como carbón activado, y la pulpa seca, de color rojo fuerte, como colorante.

*Palabras clave:* *Bactris guineensis*, Caracterización, aceite de corozo, harina de corozo, antioxidantes.

---

## Modelo de doble diamante aplicado a la bioeconomía como alternativa de diversificación productiva y agregación de valor en el Alto Putumayo

*Daniela Lucía Henao Argumedo, Bárbara Julia Arroyo Salgado,  
Lesly Patricia Tejada Benítez, Carlos Alfredo Castellón-Castro*

Universidad de Cartagena

danielahenao@hotmail.com, barroyos@unicartagena.edu.co,

ltejedab@unicartagena.edu.co, ccastelloncl@unicartagena.edu.co

### Resumen

El doble diamante es una representación visual del proceso de diseño e innovación. Es una forma sencilla de describir los pasos que se dan en cualquier proyecto de diseño e innovación, independientemente de los métodos y herramientas utilizados, y ofrece a diseñadores y no diseñadores por igual un enfoque estructurado para comprender y abordar problemas complejos y desarrollar soluciones innovadoras. Por lo anterior, el objetivo principal del trabajo fue mostrar un análisis sobre las empresas emergentes del Alto Putumayo y cómo sus actores sociales pueden tener un rol clave en promover la bioeconomía como alternativa para la diversificación productiva y la agregación de valor en el medio rural. Se partió de la revisión al binomio economía-biología, que originó el concepto de bioeconomía, buscando una mejor comprensión sobre su

relevancia en la transición hacia una economía sostenible. El método de investigación empleado fue no experimental, porque se partió de situaciones ya existentes en torno a las empresas del sector agrícola emergentes del Alto Putumayo, sus actores sociales y sus facultades organizacionales, a partir de las cuales se identificó qué rol participante podrían desempeñar a favor de la bioeconomía circular. Destacan como resultados del análisis y evaluación las directrices para una propuesta de política pública que reconozca que la bioeconomía otorga valor tanto a los recursos biológicos de esta región como al conocimiento, la investigación, la innovación y a la gestión, para el desarrollo de productos, procesos y servicios bajo el principio de sostenibilidad, donde las universidades públicas tienen un papel central en la promoción y ejecución de dicha política.

*Palabras clave:* doble diamante, bioeconomía, Alto Putumayo y diversificación productiva.

---

## Bioeconomía y alimentación saludable: transición a la economía circular en mipymes colombianas

*José Alejandro Martínez S., Anderson Lanuza Enciso*

Universidad Ean

[jamartinez@universidadean.edu.co](mailto:jamartinez@universidadean.edu.co), [alanuzae2438@universidadean.edu.co](mailto:alanuzae2438@universidadean.edu.co)

### Resumen

En el contexto de la transición hacia modelos productivos sostenibles, la economía circular se ha posicionado como un enfoque clave para mejorar la competitividad de las micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes) en América Latina. Aquí se presentan los resultados de un estudio realizado en el marco del programa Economía Circular Organizada

y Sostenible (ECOS 2.0), que analiza la implementación de estrategias circulares en tres mipymes del sector manufacturero en Colombia. A través de un diagnóstico integral basado en el Ean Sustainability Index, se evaluaron aspectos financieros, ambientales y sociales de estas empresas, identificando barreras y oportunidades para su transición hacia un modelo de economía circular. Los hallazgos evidencian que si bien las mipymes han incorporado algunas prácticas circulares —como el aprovechamiento de residuos, la optimización de materiales y la mejora en la eficiencia energética—, persisten desafíos relacionados con la falta de financiamiento, el acceso a tecnologías innovadoras y la ausencia de incentivos regulatorios específicos. En particular, se observa que la aplicación de principios de química verde y procesos ecoeficientes sigue siendo limitada debido a restricciones económicas y de conocimiento técnico. Desde una perspectiva metodológica, la investigación se basa en un enfoque mixto que combina análisis de datos cuantitativos y cualitativos, obtenidos a partir de entrevistas con empresarios, revisión de documentación empresarial y aplicación de indicadores de desempeño ambiental. La triangulación de estos datos permite formular estrategias concretas para la adopción de modelos circulares en empresas de similares características, con énfasis en la implementación de tecnologías limpias y el desarrollo de productos con menor impacto ambiental. Como contribución original, se propone un marco de referencia para la integración efectiva de la economía circular en mipymes manufactureras, destacando el rol de la innovación en materiales y procesos químicos sostenibles. Asimismo, se presentan recomendaciones orientadas a mejorar la articulación entre el sector productivo, la academia y las entidades gubernamentales, para facilitar la escalabilidad de estas iniciativas. Los resultados obtenidos en este estudio no solo aportan a la comprensión de la economía

circular en entornos empresariales de pequeña escala, sino que también ofrecen insumos para el diseño de políticas públicas que fomenten la sostenibilidad y la competitividad en el sector manufacturero colombiano.

*Palabras clave:* economía circular, mipymes, bioeconomía, química verde.

## Diseño de una planta de producción de biodiésel usando aceite de palma como materia prima

*Valeria Riveros Parra, Juan Sebastián Robelto Cordero,  
Julieth Vanessa Baquero, Lucas Sebastián Ávila Chaparro*

Universidad de La Salle  
vriveros39@unisalle.edu.co, jrobolto56@unisalle.edu.co,  
jbaquero33@unisalle.edu.co, vavila86@unisalle.edu.co

### Resumen

La producción de biodiésel es una estrategia clave en la transición hacia energías renovables. En Colombia, su producción anual alcanza aproximadamente 600 000 toneladas, con el aceite de palma como principal materia prima. El país se posiciona como el mayor productor de palma en América y el cuarto en el mundo, con más de 1.6 millones de toneladas anuales. Sin embargo, la conversión de este recurso en biodiésel enfrenta desafíos técnicos, particularmente en la eficiencia del proceso, la gestión de subproductos y el cumplimiento de normativas ambientales. Optimizar estos aspectos es crucial para mejorar la competitividad del biodiésel frente a otras alternativas energéticas. Este estudio propone el diseño de una planta de biodiésel optimizada mediante valorización de residuos y operación en condiciones subcríticas. Tomando algunos artículos internacionales como referencia se implementó la extracción con solventes de aceite residual en efluentes de palma (POME), con el fin de obtener una

recuperación de hasta el 90 %. Además, el análisis cinético y termodinámico del proceso indica que operar en condiciones subcríticas mejora la eficiencia de la transesterificación sin necesidad de equipos de alta presión o temperaturas extremas. La integración de principios de biorrefinería aprovecha de forma más eficiente los recursos y reduce significativamente los residuos. La modelación con Aspen HYSYS confirmó que la transesterificación en condiciones subcríticas optimiza el rendimiento del biodiésel sin comprometer la viabilidad operativa. Los resultados indican que la extracción de aceite residual con solventes es una alternativa viable para mejorar la producción de biodiésel y minimizar el impacto ambiental. Se concluye que la implementación de estas estrategias en Colombia fortalecería la producción de biodiésel, aumentando su competitividad en el mercado y promoviendo una transición energética más eficiente y sustentable.

*Palabras clave:* biodiésel, aceite de palma, transesterificación, biorrefinería, rentabilidad.

---

## Aprovechamiento del cáñamo residual de cultivos de cannabis medicinal para la obtención de nanocelulosa y lignina

*Laura Sofía Algarra Salgado, Diana Sofía Rojas Escobar,  
Jairo Alberto Grijalba Morales, Stephanie Durán Sánchez,  
Julián Mateo Pinilla Pinilla, Julio César Vargas Sáenz*

Universidad Nacional de Colombia

lalgarra@unal.edu.co, dirojase@unal.edu.co, jgrijalba@unal.edu.co,  
sdurans@unal.edu.co, jupinillap@unal.edu.co, jcvargass@unal.edu.co

### Resumen

Ante el crecimiento de la industria del cannabis medicinal en Colombia, el cáñamo residual generado tras la cosecha y procesamiento de la flor representa una biomasa abundante

con potencial para obtener bioproductos de alto valor agregado. Este trabajo busca valorizar estos residuos mediante la producción de nanocelulosa y lignina a partir del maderable del cañamo, promoviendo su aprovechamiento en una economía circular. El proceso inicia con el secado del cañamo residual a 65 °C durante 6 h, seguido de la separación de la fibra y el maderable. Este último se muele y tamiza hasta una malla 8 para luego someterse a un despulpado ácido con ácido fórmico y acético (70:30 v/v) a 80 °C por 4 h. Tras la filtración y lavado con ácido fórmico y agua caliente, la celulosa se purifica mediante tratamiento con peróxido de hidrógeno al 35 % v y una mezcla ácida (85:15 v/v) a 80 °C por 4 h. Posteriormente, la celulosa se somete a un proceso de blanqueamiento con peróxido de hidrógeno (35 % v) a 80 °C durante 2 h, manteniendo un pH de 11. Finalmente, se realizan lavados con agua destilada hasta obtener fibras blancas. La nanocelulosa se obtiene por hidrólisis con ácido sulfúrico al 50 % v a 40 °C por 30 min, seguida de filtración y lavado hasta pH 5.2, con un secado final a tres temperaturas: 35 °C, -40 °C y a temperatura ambiente, por 12 h. Para la extracción de lignina, el licor negro del despulpado se somete a una extracción ácida de ácido sulfúrico 50 % v, con una relación biomasa-acido 1:8, a 70 °C por 6 h. Luego, la mezcla se filtra al vacío, se lava con ácido fórmico y agua destilada, y se diluye con 10 veces su volumen de agua para precipitar la lignina. El pH se ajusta a 7 con NaOH 0.03 M y la lignina se recupera por centrifugación y secado a 35 °C por 24 h. Las caracterizaciones revelaron cambios significativos en las propiedades de los materiales obtenidos. El análisis SEM mostró que la nanocelulosa presentó fibras alargadas (6.8-24.2  $\mu\text{m}$ ), lo que indica una transformación estructural. En términos térmicos, el análisis TGA evidenció una degradación en múltiples etapas (126 a 626 °C), indicando menor estabilidad térmica que la celulosa inicial. El DSC mostró transiciones exotérmicas a 166.6 °C y 193.8 °C, atribuidas a los cambios estructurales inducidos en la nanofibración. Por su parte, la lignina tuvo

un rendimiento del 54.3 %, y su espectro UV-Vis confirmó la presencia de grupos aromáticos y carbonilos con bandas de absorción entre 270 y 280 nm. Estos resultados sugieren que la nanocelulosa posee propiedades estructurales prometedoras para aplicaciones en materiales compuestos de alta superficie específica, aunque su estabilidad térmica requiere optimización. La lignina, por su estructura compleja y funcionalidad química, se perfila como un insumo clave para el desarrollo de biopolímeros y contribuye a una valorización eficiente de los residuos agroindustriales del cáñamo.

*Palabras clave:* celulosa, lignina, nanofibras, biopolímeros, cáñamo.

## Exploring Volatile Fatty Acids Production by Acidogenic Fermentation of Cassava Processing Wastewater: a Kinetic Modeling

*Lina Marcela Sánchez-Ledesma, Jenny Alexandra Rodríguez-Victoria, Howard Diego Ramírez-Malule*

Universidad del Valle

lina.ledesma@correounivalle.edu.co, jenny.rodriguez@correounivalle.edu.co,

howard.ramirez@correounivalle.edu.co

### Resumen

Cassava wastewater (CWW) is a by-product of sour starch extraction from cassava. During processing, water dissolves various cassava-derived compounds, resulting in an effluent with a high organic load, cyanide content, and pH variability, posing significant environmental risks. If discharged untreated, this effluent can severely degrade nearby surface water bodies, making them unsuitable for potable use, fishing, and recreational activities. Several studies have demonstrated that anaerobic digestion (AD) is an effective technology for CWW treatment. Although methane is conventionally considered the primary product of AD, recent research highlights

the economic potential of intermediate metabolites. Among these, volatile fatty acids (VFA)-produced during the acidogenic fermentation (AF)-are of particular interest due to their industrial relevance. The efficiency of AF is highly influenced by environmental and operational parameters, making experimental analysis complex. Modeling and simulation tools provide a means to systematically interpret these effects. Various studies have explored VFA production modeling from wastewater, yet the choice of an appropriate model depends on research objectives and data availability for parameter estimation. Kinetic models are particularly valuable when bioreactor datasets include temporal concentration profiles of key components, enabling the estimation of parameters governing microbial growth, substrate degradation, and metabolite formation under varying process conditions. The selection of a suitable kinetic model for VFA production is inherently dependent on the substrate's physicochemical properties. Despite its potential, the kinetic modeling of VFA production from CWW remains underexplored in scientific literature. This study investigates the kinetic behavior of VFA production in batch reactors using CWW as a substrate, under conditions optimized in previous studies (initial pH = 5.7, S/M ratio = 4 gCOD/gVS, and temperature =  $34 \pm 1$  °C). The study aims to identify the most suitable kinetic models for describing soluble organic matter consumption and VFA production dynamics. VFA yields ranged from 0.15 to 0.44 gCODVFA/gCOD over fermentation time (12-day), with the highest production observed on day 9. The VFA composition were 29.7, 43.3, and 27.0 % of acetic acid, propionic acid, and butyric acid, respectively. Modeling results indicate that the modified Gompertz and first-order with residual models best describe soluble organic matter consumption, whereas first-order and BPK models effectively capture VFA production kinetics. These models demonstrated their predictive accuracy because of the highest coefficient of determination ( $R^2$ ) and the lowest root mean square error (RMSE) and Akaike

information criterion (AIC) values. Given its low cost and high availability, CWW represents a promising feedstock for VFA recovery. These results provide critical insights for the design, optimization, and scale-up of acidogenic reactors, facilitating the valorization of agro-industrial wastewater streams.

*Palabras clave:* cassava wastewater, acidogenic fermentation, volatile fatty acids, kinetic modeling.

## Efecto del uso de la acetona como cosolvente en la viabilidad financiera de la producción de biocrudo por licuefacción hidrotérmica de CO<sub>2</sub> capturado en el cultivo de microalgas

<sup>1</sup>David Ocampo Echeverri, <sup>2</sup>Gabriel Vargas Betancur, <sup>1</sup>Elkin Andrés Gómez, <sup>1</sup>Luis Alberto Ríos, <sup>1</sup>Esteban Ocampo Echeverri

<sup>1</sup>Universidad de Antioquia, 2I&D Cementos Argos S. A., Argos Center for Innovation

david.ocampoe@udea.edu.co, gvargasva@argos.com.co, elkina.gomez@udea.edu.co, luis.rios@udea.edu.co, esteban.ocampo@udea.edu.co

### Resumen

La licuefacción hidrotérmica (HTL) es una tecnología prometedora para sintetizar biocrudo a partir de biomasa de microalgas que ha capturado CO<sub>2</sub> gaseoso. Sin embargo, aún quedan por resolver varios problemas de esta tecnología para que sea económica y técnicamente viable, entre estos la viabilidad financiera del proceso HTL, por el bajo rendimiento que se obtiene cuando solo se utiliza agua como solvente, con resultados cercanos o inferiores al 30 % en peso. Esto, a su vez, aumenta el costo de producción a más de 120 dólares por barril. En los últimos años, algunos autores han centrado sus esfuerzos en aumentar la producción de biocrudo mediante el uso extensivo de disolventes orgánicos, sin

tener en cuenta los efectos sobre la viabilidad económica. En el presente trabajo se evaluó el efecto financiero del uso de acetona como cosolvente orgánico y se encontró que los altos contenidos de acetona incrementaron los costos operativos del proceso, principalmente debido a pérdidas en su manejo y recuperación. Por el contrario, los contenidos muy bajos de acetona tuvieron muy poco efecto sobre el rendimiento del biocrudo. Se pudo establecer que concentraciones cercanas al 5 % en peso de acetona, mezclada con agua, resultaron en un rendimiento de alrededor del 60 % en peso y un costo de producción de 50 dólares por barril de biocrudo, con una densificación energética de 30.25 MJ/kg y 8.60° API, clasificándolo como crudo pesado, lo que hace necesario incluir procesos de refinación para la remoción de heteroátomos. La caracterización química del biocrudo reveló un alto contenido de compuestos nitrogenados (23.6 % en peso) y compuestos oxigenados (10.7 % en peso) que deben eliminarse para la posterior producción de combustibles líquidos comerciales. Se concluye que el uso de una mezcla de agua y acetona permite obtener utilidades operativas positivas, lo que contribuye a los altos costos de capital involucrados en este tipo de tecnología, haciéndola más comparable financieramente con la industria petrolera convencional. Esta innovación permitió obtener la primera patente en el Departamento de Ingeniería Química y segunda internacional en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, obtenida de la mano de Cementos Argos en los Estados Unidos “Solvothermal Liquefaction Process from Biomass for Biocrude Production USP2022/000022”. Dicha patente establece las condiciones no solo técnicas, sino financieras y ambientales que minimizan los costos de producción en la obtención de un biocrudo con unos costos de producción estimados de 45-50 dólares por barril, con características similares a un crudo de petróleo, a partir de fuentes renovables como las biomásas. A partir de esto ya se cuenta con un sistema precomercial de HTL construido en la Planta de Cementos Argos en Cartagena (Colombia), cuyo

fin es producir biocrudo en cantidades suficientes para su incorporación en sistemas convencionales de refinación, de la mano de Ecopetrol, a través del Instituto colombiano del Petróleo. Este desarrollo pretende establecer las condiciones técnicas, financieras y ambientales que permitan la incorporación de biocrudos en sistemas convencionales de refinación partiendo de la tecnología de HTL, en un principio validada con las microalgas.

*Palabras clave:* biocrudo, licuefacción hidrotérmica, cosolvente, captura de CO<sub>2</sub>, factibilidad.

## Hidromiel: una oportunidad para la apicultura en Panamá y en los Montes de María (Colombia)

*<sup>1</sup>Tanisha Pérez Mendieta, <sup>2</sup>Jalelys Leones Cerpa, <sup>3</sup>Marco Mason, <sup>1</sup>Indira Franco Obaldía, <sup>2</sup>Martha Cuenca Quicazán*

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Panamá, <sup>2</sup>Universidad de Cartagena,

<sup>3</sup>Investigador independiente

tanisha.perez@utp.ac.pa, jleonesc@unicartagena.edu.co,

marco.maso83@gmail.com, indira.franco@utp.ac.pa,

mcuencaq@unicartagena.edu.co

### Resumen

El hidromiel es una bebida alcohólica ancestral obtenida mediante la fermentación de miel diluida. Puede convertirse en una alternativa prometedora para diversificar la producción apícola y generar valor agregado. En regiones como los Montes de María, en Colombia, y Panamá, donde la obtención de miel es significativa pero su comercialización se limita a la materia prima, el hidromiel representa una oportunidad para transformar un recurso subutilizado en uno de mayor valor. En los Montes de María, los apicultores enfrentan el desafío de comercializar su producto a bajos precios y ello limita sus

ingresos. Con el hidromiel se aprovecha la miel y se podría dinamizar la economía local, generando nuevas fuentes de ingresos. La Universidad de Cartagena ha liderado iniciativas de este tipo utilizando insumos locales, como miel, polen y frutas tropicales. Estos esfuerzos buscan diversificar la oferta de productos apícolas y agregar valor a la economía regional. En Panamá, a pesar de contar con condiciones geográficas y climáticas similares a la región caribeña colombiana, todavía es incipiente. Es por ello por lo que en este estudio se evaluó la fermentación alcohólica para la obtención de hidromiel utilizando materias primas de los Montes de María y Panamá, con el objetivo de identificar similitudes y diferencias en los procesos y productos resultantes. Mediante levaduras comerciales se produjeron cuatro hidromieles, mieles de ambas regiones y diferentes fuentes de nitrógeno. La fermentación se llevó a cabo en reactores discontinuos, durante 21 días a 30 °C. Los resultados revelaron diferencias en la velocidad de consumo de azúcares entre las muestras, lo que sugiere variaciones en la cinética fermentativa, probablemente por las levaduras y mieles utilizadas. Sin embargo, en todos los casos se obtuvo hidromiel con un contenido de etanol dentro de los límites establecidos por las normativas de vinos en Colombia y Panamá. Aunque en Colombia existen experiencias comerciales de producción de hidromiel en regiones como Boyacá y Huila, en la región caribeña y Panamá esta práctica es incipiente. Este estudio demuestra el potencial del hidromiel como una alternativa viable para los apicultores de ambas regiones, ya que les permite diversificar su producción y obtener mayores beneficios económicos. Se recomienda ampliar la investigación con ensayos que incluyan la adición de frutas tropicales, hierbas aromáticas y especias, con el fin de explorar la versatilidad del hidromiel y satisfacer las preferencias de los consumidores.

Dado su potencial para generar valor agregado y diversificar la oferta apícola, el hidromiel representa una oportunidad para impulsar el desarrollo económico de los apicultores en los Montes de María y Panamá.

*Palabras clave:* hidromiel, levaduras comerciales, miel de abejas, Panamá, Montes de María.

---

## Caracterización fisicoquímica y sensorial de mieles de los Montes de María (Colombia): un camino hacia la diferenciación y el valor agregado

<sup>1</sup>Cindy Andrea Nieto Veloza, <sup>2</sup>Jalelys Leones Cerpa,  
<sup>2</sup>Ana Ruby Correa Mosquera, <sup>2</sup>Marco Mason, <sup>2</sup>Claudia  
Hernández Londoño, <sup>2</sup>Martha Cuenca Quicazán

<sup>1</sup>Universidad del Valle, <sup>2</sup>Universidad de Cartagena  
canietov@unal.edu.co, jleonesc@unicartagena.edu.co,  
acorream1@unicartagena.edu.co, marco.maso83@gmail.com,  
chernandezl@unicartagena.edu.co, mcuencaq@unicartagena.edu.co

### Resumen

En los Montes de María, una subregión colombiana estratégicamente ubicada entre los departamentos de Bolívar y Sucre, se desarrolla una significativa producción de miel de abejas. Sin embargo, a pesar de su volumen considerable, esta miel es comercializada a precios que no reflejan su verdadero valor. Esta situación se debe, en gran medida, a una serie de factores interrelacionados que limitan el potencial económico de los apicultores de la región. Uno de los principales obstáculos es el limitado conocimiento formal que poseen en relación con las técnicas analíticas fisicoquímicas y sensoriales. Estas técnicas son fundamentales para evaluar la calidad y las características únicas de la miel, lo que permitiría diferenciarla y agregarle valor en el mercado. La falta de este conocimiento les impide

a los apicultores caracterizar de modo adecuado sus productos y los deja en desventaja en el momento de negociar precios y competir con otros. A este problema se suman los altos costos asociados con el envío de las muestras de miel a ciudades capitales como Bogotá y Medellín, donde se encuentran los laboratorios especializados para los análisis necesarios. Estos costos, que incluyen el transporte, el embalaje y las tarifas de los laboratorios, representan una carga financiera considerable para muchos de los apicultores, para quienes sus recursos son limitados. Esta situación desincentiva la realización de análisis exhaustivos, lo que perpetúa la falta de caracterización y la comercialización a bajos precios. Otro factor que contribuye a la problemática es la presencia en el mercado de productos que se comercializan como miel, pero que no cumplen con los estándares de autenticidad y calidad. Esta competencia desleal afecta negativamente la reputación de la miel producida en los Montes de María y reduce aún más las ganancias de los apicultores que se esfuerzan por ofrecer un producto genuino y de alta calidad. Como consecuencia de estos desafíos, la caracterización de las mieles de los Montes de María es limitada. Esto significa que no se han identificado ni documentado de manera sistemática las propiedades fisicoquímicas y sensoriales que hacen únicas a estas mieles. En respuesta a esta situación, se llevó a cabo un estudio cuyo objetivo era el montaje de metodologías analíticas fisicoquímicas para la caracterización de las mieles de los Montes de María. Estas metodologías se implementaron siguiendo los lineamientos establecidos por la Norma Técnica Colombiana NTC 1273, que define los requisitos de calidad para la miel de abejas, y las directrices de la Comisión Internacional de Mieles, que proporciona un marco para el análisis sensorial de este producto. En este estudio se caracterizaron diez muestras de miel provenientes de diferentes apiarios ubicados en los municipios de San Jacinto y El Carmen de Bolívar, dos de las principales zonas productoras de miel en los Montes de María. Para llevar a cabo los análisis fisicoquímicos, se

generaron procedimientos experimentales adaptados a los equipos disponibles en los laboratorios del Programa de Ingeniería Química de la Universidad de Cartagena. Esta institución académica desempeñó un papel fundamental, al proporcionar la infraestructura y el apoyo técnico necesarios para el desarrollo de la investigación. Además de los análisis fisicoquímicos, se realizó una evaluación sensorial de las muestras de miel. Para ello, se conformó un panel de cinco expertos, quienes estaban capacitados para identificar y describir las características sensoriales de las mieles, como el color, el olor, el sabor, el aroma y los defectos presentes asociados al proceso de cosecha de la miel. La combinación de los análisis fisicoquímicos y sensoriales permitió obtener una caracterización integral de las mieles de los Montes de María. Los resultados del estudio revelaron que es factible encontrar tanto similitudes como diferencias significativas entre las muestras evaluadas. Estas diferencias se observaron tanto en las propiedades fisicoquímicas como en las características sensoriales, como el perfil de sabor y el aroma. Estos hallazgos sugieren que las mieles de los Montes de María poseen una diversidad que podría aprovecharse para diferenciarlas en el mercado.

Se concluyó que, con un mayor número de muestras y un análisis más exhaustivo, sería posible caracterizar las mieles de acuerdo con su origen geográfico. Esto permitiría identificar las características distintivas de las mieles producidas en diferentes zonas de los Montes de María, lo que contribuiría a la diferenciación de los productos y a la generación de mayor valor para los apicultores. Al destacar las cualidades únicas de cada tipo de miel, aumentaría su atractivo para los consumidores y mejorarían los precios de venta, beneficiando así a toda la cadena productiva.

*Palabras clave:* miel, Montes de María, análisis sensorial, análisis fisicoquímico.

---

## Producción de oligosacáridos mediante autohidrólisis de cáscara de cacao

*Geoffry Farid Jaimes Villamizar, Dana Carolina Gómez Castillo,  
Laura Valentina Quintero Prada, Débora Alcida Nabarlatz*

Universidad Industrial de Santander  
laura.quintero5@correo.uis.edu.co

### Resumen

En la actualidad, el cacao es uno de los principales productos agrícolas de Colombia, dado que se producen aproximadamente 62 000 toneladas anuales. En la cadena agroindustrial del cacao se aprovecha tan solo el 15 % del material vegetal; mientras que el 85 % restante corresponde a residuos vegetales acumulados en los periodos de cosecha y procesamiento, de los cuales el más abundante es la cáscara de cacao, la cual representa el 70 %-80 % de todo el fruto. Estos residuos se dejan en los suelos de las áreas de cultivo o se incineran, con los consecuentes problemas ambientales como contaminación, propagación de malos olores y enfermedades al cultivo, que finalmente afectan la calidad y producción del cacao. Para la valorización de este residuo, el trabajo de investigación determinó las condiciones de operación adecuadas para maximizar el rendimiento de producción de los oligosacáridos con potencial prebiótico a partir de cáscara de cacao. Los xilooligosacáridos fueron extraídos mediante autohidrólisis, evaluando diferentes condiciones de reacción como tiempo y temperatura, las cuales afectan la severidad del proceso, y permiten evaluar la cinética de reacción. Para la extracción de los xilooligosacáridos se realizó la autohidrólisis de cáscara de cacao a escala laboratorio en reactores de 50 mL empleando diferentes condiciones de tiempo y temperatura. La cuantificación de oligo- y monosacáridos presentes en el licor se realizó mediante HPLC y SEC, se cuantificaron los polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu y se analizó el sólido remanente. Las condiciones de reacción por medio

de las cuales se obtuvo el mayor rendimiento de extracción de xilooligosacáridos se validaron a escala piloto en un reactor Batch de 20 L. Los resultados mostraron que el hidrolizado obtenido a 180 °C y 30 min de tiempo de reacción permitió alcanzar una concentración máxima de xilooligosacáridos de 10.7 g/L, así como una concentración máxima de oligómeros de glucosa de 6.5 g/L. Gracias al modelo cinético para la reacción de autohidrólisis, se ajustaron los parámetros que describen la producción de oligosacáridos, los cuales presentaron un ajuste ( $R^2$ ) superior a 0.97 respecto a los valores experimentales. Finalmente, el comportamiento de la cáscara de cacao en la autohidrólisis a escala piloto en un reactor de 20 L fue similar al observado en los microrreactores, con una concentración máxima de xilooligosacáridos de 9.6 g/L.

*Palabras clave:* oligosacáridos, cáscara de cacao, autohidrólisis, modelo cinético, escala piloto

---

## **Análisis del rendimiento en la producción de ácido poliláctico a partir de cáscaras de yuca mediante fermentación en estado sólido y líquido con bacterias ácido-lácticas de kéfir**

*Santiago de Jesús Baena Rubio, Keren Natalia*

*García Luna, Jhanpierre Ospino Muñoz*

Universidad de San Buenaventura  
sdbaenar@miusbctg.edu.co, knhernandezl@miusbctg.edu.co,  
jjospinom@miusbctg.edu.co

### **Resumen**

La producción de ácido láctico (LA) ha despertado un gran interés en la industria debido a sus múltiples aplicaciones en sectores como el alimentario, el cosmético, el farmacéutico y el polimérico. Se destaca el último, ya que mediante la

polimerización del LA se sintetiza ácido poliláctico (PLA), un biopolímero no tóxico y biodegradable. Estas características lo posicionan como una alternativa sostenible a los plásticos convencionales, gracias a propiedades como su elasticidad, rigidez, biocompatibilidad y comportamiento termoplástico, que facilita su moldeo. La producción mundial de plásticos pasó de 15 millones de toneladas en 1960 a 410 millones en 2023, con proyecciones de alcanzar 1120 millones para 2050. En Colombia se generan cerca de 12 millones de toneladas anuales de residuos sólidos, de los cuales solo el 17 % se reutiliza; el 74 % de los envases termina en rellenos sanitarios. A nivel individual, un colombiano consume en promedio seis bolsas plásticas por semana (288 anuales), lo que equivale a 22 176 bolsas en su vida (esperanza de vida de 77 años) y aproximadamente 1.8 toneladas de residuos plásticos por persona. Esta situación genera graves impactos ambientales, por lo que incrementa la urgencia de desarrollar alternativas sostenibles, como biopolímeros biodegradables para reemplazar los plásticos derivados del petróleo. La producción de PLA a partir de cáscaras de yuca mediante fermentación con bacterias ácido-lácticas de kéfir ofrece una solución sostenible a la contaminación por plásticos derivados del petróleo. Colombia, en particular el departamento de Bolívar, genera anualmente cerca de 101 054 toneladas de cáscaras de yuca como desecho agrícola, materia prima ideal para producir LA, precursor del PLA. Este estudio compara dos métodos de fermentación en estado sólido (FES) y líquido (FEL) para determinar cuál ofrece mayor rendimiento en la producción de LA. Las bacterias ácido-lácticas presentes en los gránulos de kéfir (proporcionado por la Universidad de San Buenaventura) destacan por su eficiencia en convertir carbohidratos complejos en LA, incluso bajo condiciones variables de pH y temperatura. Para evaluar su desempeño se caracterizan las cáscaras de yuca mediante análisis fisicoquímicos que determinan su contenido de almidón y otros componentes; posteriormente, se lleva a cabo la hidrólisis para liberar azúcares

fermentables. Se evalúan parámetros clave como temperatura (30-37 °C), pH (5.5-6.5) y relación sustrato/agua en ambos sistemas. Los análisis mediante titulación con NaOH 0.1 N permitirán cuantificar la producción de LA. Se espera que la FES muestre ventajas significativas, por su menor consumo de agua y energía, lo que la haría una opción más eficiente y ambientalmente favorable. Esta investigación no solo valora un desecho agrícola, sino que contribuye al desarrollo de bioplásticos locales, alineados con políticas de economía circular. Por otra parte, la sustitución de productos sostenibles por aquellos derivados del petróleo permite la conservación del medio ambiente y un avance en el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

*Palabras clave:* ácido láctico, gránulos de kéfir, yuca, ácido poliláctico.

## Obtención y caracterización del almidón proveniente de la semilla de aguacate Hass para su posible uso en bioplásticos

*Paola Yolanda Navarro Tesillo, Jesús David Guerra Cumplido,  
Luz Marina Ramos Torres, Liset Paola Mallarino Miranda,  
Liliana María Úsuga Manco, Lesly Patricia Tejada Benítez*

Universidad de Cartagena

pnavarro@unicartagena.edu.co, jguerra1@unicartagena.edu.co,  
lramost2@unicartagena.edu.co, lmallarino@unicartagena.edu.co,  
lusugam@unicartagena.edu.co, ltejedab@unicartagena.edu.co

### Resumen

El aumento de la contaminación a causa de los residuos agroindustriales viene del escaso conocimiento de las propiedades de algunos de sus componentes, lo que los acumula, al no ser sometidos a procesamientos para la obtención de productos de valor agregado. En el mundo, el aguacate es un fruto altamente demandado, por su riqueza en vitaminas, minerales, proteínas,

fibras y fenoles; por lo tanto, su procesamiento agroindustrial genera la acumulación de residuos que afectan la salud ambiental. Además, el consumo de su fruto genera cerca de un 30 % de subproductos no comestibles, correspondientes a cáscaras y semillas que por lo general se descartan. Dado lo anterior, la investigación de procesos que busquen el aprovechamiento de estos residuos es de gran importancia. Actualmente, los residuos agroindustriales del aguacate se han utilizado en diferentes campos de la ingeniería, como en la obtención de adsorbentes y biopolímeros, y en la industria alimentaria, por sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes. La semilla del aguacate tiene amplias aplicaciones en el campo de la ingeniería, por la presencia de almidón y compuestos lignocelulósicos, siendo una potencial materia prima de segunda generación que puede utilizarse en el desarrollo de nuevos materiales. Algunos estudios han evaluado el uso de la celulosa de la caña de azúcar y el quitosano, con almidón de semilla de aguacate y glicerol como mezclas de polímeros. Esta investigación tuvo como objetivo extraer almidón usando como materia prima la semilla de aguacate Hass proveniente del departamento del Putumayo y evaluar sus propiedades fisicoquímicas, térmicas y morfológicas para determinar su posible uso como polímero en bioplásticos. Entre los resultados preliminares se destaca que el almidón obtenido posee los grupos funcionales característicos para la molécula de almidón que son comparables con otros espectros reportados en la literatura; los gránulos son de forma esférica y ovalada, de superficie lisa, sin presencia de porosidad; la temperatura en la que se gelatiniza es de 71.59 °C y su descomposición térmica inicia alrededor de 247 °C. Se puede concluir que el aislamiento del almidón presente en las semillas de aguacate representa una opción para reducir los problemas de contaminación relacionados

con su disposición final, al mismo tiempo que contribuiría a aumentar los ingresos de los agricultores, dentro del contexto de la economía circular.

*Palabras clave:* residuo, aguacate, semilla, almidón, bioplástico.

## Aislamiento e identificación de bacterias endosimbiontes hidrocarbonoclastas y promotoras del crecimiento vegetal en *Eisenia fetida*

*Rubén Aguilar Corrales, Teresita Jiménez Salgado,  
Refugio Armando Tapia Hernández*

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP)  
ruben.aguilarco@alumno.buap.mx, teresita.jimenez@correo.buap.mx,  
armando.tapia@correo.buap.mx

### Resumen

La contaminación de suelos con hidrocarburos representa un serio peligro para la salud humana y el equilibrio ecosistémico, puesto que contaminan cuerpos de agua superficiales y subterráneos, causan enormes pérdidas económicas, merman la producción agrícola y pueden biomagnificarse en la cadena trófica. La biorremediación es un método eficaz, económico y versátil para rehabilitar entornos contaminados mediante procesos de desintoxicación y mineralización. En la última década se ha acuñado el término *vermirremediación* para referirse a la tecnología que aprovecha el ciclo de vida y ecología de las lombrices para acumular, extraer, transformar o degradar contaminantes en el suelo. Se ha demostrado que degradan o facilitan la eliminación de pesticidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, petróleo crudo y metales pesados. Sin embargo, la información respecto a su efectividad es muy diversa y se desconocen los mecanismos mediante los cuales degradan xenobióticos. Otra tecnología de biorremediación efectiva

en la degradación de hidrocarburos es la bioaumentación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal, las cuales existen también en el tracto digestivo de las lombrices. El objetivo de este trabajo consistió en desarrollar métodos para el aislamiento de bacterias hidrocarbonoclastas y promotoras del crecimiento vegetal del tracto digestivo de *Eisenia fetida*. Para inducir la proliferación de endosimbiontes con la capacidad de tolerar o degradar petróleo, se expusieron 30 individuos de *E. fetida* a concentraciones de 0, 5, 10, 15 y 20 gramos de crudo por kilogramo de suelo por un mes. Para la obtención de los endosimbiontes se estandarizaron dos procesos de desinfección superficial empleando hipoclorito de calcio y cloramina T, y se lograron porcentajes de desinfección superiores al 90 %. El procedimiento establecido para el primoaislamiento de endosimbiontes tolerantes o degradadores de hidrocarburos consistió en el empleo del medio de cultivo descrito por Banat enriquecido con 50  $\mu$ L de petróleo extendidos sobre la caja Petri como única fuente de carbono y energía. Se desarrolló también un método para el cultivo de *Azospirillum* spp., organismo reportado como endosimbionte de *E. fetida*, pero para el que no se ha reportado un método de aislamiento de su interior. Los resultados del ensayo de toxicidad indicaron que la concentración letal media (LC50) fue de 15 246 g/kg. Además, se recuperaron 10 cepas bacterianas con alta actividad de degradación provenientes del tracto digestivo de las lombrices expuestas a 10 y 15 g/kg. Estas cepas pertenecen a los géneros *Azospirillum* spp., *Pseudomonas* spp. y *Bacillus* spp., lo que sugiere que la microbiota intestinal de *E. fetida* se adapta y especializa en la degradación de hidrocarburos en función del incremento en la concentración del contaminante.

*Palabras clave:* suelo, contaminación, petróleo, *Eisenia fetida*, PGPB.

---

## Ficorremediación de efluentes de plantas extractoras de aceite de palma utilizando *Coelastrella* sp. como un proceso ecoamigable

*Ildefonso Baldiris Navarro, Lesly Tejada*

*Benítez, Leonor Cervantes Ceballos*

Universidad de Cartagena

ibaldirisn@unicartagena.edu.co, ltejedab@unicartagena.edu.co,

lcervantesc@unicartagena.edu.co

### Resumen

El proceso de extracción de aceite de palma genera grandes cantidades de un subproducto líquido no tóxico llamado *Palm Oil Mill Effluent (POME)*, que se acerca a las 3 toneladas de *POME* por tonelada de aceite de palma producido. Estos vertimientos tienen altas concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) por encima de 5000 mg/L; además, la demanda química de oxígeno (DQO) está por encima de los 14 000 mg/L y los sólidos suspendidos están por encima de los 5000 mg/L. Todos estos parámetros superan los límites permisibles nacionales e internacionales. Por otro lado, las microalgas han demostrado tener la capacidad para remover contaminantes de diferentes vertimientos debido a su gran capacidad de adaptación a condiciones ambientales variables, su alta tasa de crecimiento y su capacidad de captura de CO<sub>2</sub>. El objetivo de este trabajo fue usar la microalga *Coelastrella* sp. para tratar los *POME* de una planta ubicada en el municipio de Codazzi (Cesar, Colombia). Se cultivó la microalga *Coelastrella* sp. en soluciones acuosas a diferentes concentraciones del *POME* (5 %, 10 % y 15 %), los cultivos se hicieron por duplicado por 10 días en erlenmeyers de 1 L. Durante este tiempo, día tras día, se midió la densidad óptica a 680 nm, los sólidos suspendidos totales y se hizo conteo con una cámara de Neubauer, esto con el fin de definir la cinética de crecimiento. También se midió diariamente la concentración de DQO,

fosfatos y amonio para evaluar el porcentaje de remoción de contaminantes. La microalga presentó mejor crecimiento en la solución al 5 % de *POME*, con remociones mayores al 70 %. Este bioensayo se escaló a cultivos de 4 L para continuar con los ensayos de remoción. Se espera que el cultivo al 5 % sea capaz de separar la biomasa y extraer los lípidos, que serán analizados por GC-MS para evidenciar posibles usos en la obtención de biodiésel o compuestos bioactivos.

*Palabras clave:* microalgas, *POME*, ficorremediación, lípidos, biochar.

## Modelamiento y simulación del proceso de producción de azúcares fermentables a partir del bagazo de malta

*Javier Andrés Dávila Rincón, Sebastián Rodrigo Rojas Suancha*

Universidad Nacional de Colombia  
jadavilar@unal.edu.co, srojassu@unal.edu.co

### Resumen

En el marco de la sostenibilidad, de las necesidades de la sociedad y la espera de una respuesta a estas necesidades por parte de la industria, los procesos bioquímicos cobran vital importancia, desde el diseño de productos hasta la concepción de diseño de procesos, para el desarrollo de una industria establecida bajo los principios de la economía circular. En este contexto, la biomasa y su potencial para el desarrollo de biocombustibles y biomateriales han sido estudiados los últimos años con el fin de proponer biorrefinerías que permitan cerrar el ciclo de vida de los subproductos derivados de la industria química, lo que ha llevado a la evaluación de propuestas tales que la hidrólisis y sus múltiples variantes, la pirólisis, la licuefacción, así como el uso de microorganismos en pro de obtener productos de interés. Sin embargo, la aplicación de este tipo

de metodologías se ha visto restringida, en mejorar y escalar este tipo de procesos, para la comercialización de bioproductos. En adición a los costos de obtención de los diversos subproductos se suman otros retos para la implementación de una bioeconomía. Algunos por mencionar son la variedad de subproductos obtenidos, la sensibilidad a las condiciones de operación y el comportamiento de la transferencia de masa/energía y reológico para su reacción y simulación, los retos de carácter económico, las distintas materias primas y su composición, así como la gran variedad de tratamientos y rendimientos obtenidos. La biomasa residual obtenida de procesos industriales en el territorio colombiano, por ejemplo, la malta de cebada, la borra de café y la cascarilla de arroz, son en algunos casos materias primas utilizada indiscriminadamente para la quema o para su incorporación en ciertos productos con mercados muy pequeños, sin considerar su múltiples potenciales para la obtención de bioproductos con un alto valor añadido. Un ejemplo es su potencial para la recuperación de azúcares fermentables con el fin de desarrollar bioetanol de segunda generación. Frente a estos retos, como respuesta a la necesidad de generar avances en el modelado y simulación de pretratamientos que permitan evaluar la incorporación de diversos bioprocesos en la industria, se proponen parámetros obtenidos experimentalmente para modelos teóricos de pretratamientos como el ultrasonido y la hidrólisis ácida; así mismo, se ofrece una metodología para la simulación de estos bioprocesos en *software* especializado (Aspen Plus). Los resultados obtenidos permiten llevar a cabo una evaluación económica para proyectos de implementación de tratamiento de biomasa de manera económica, así como aumentar los parámetros disponibles para materia prima disponible en Colombia, en vista de mejorar a futuro la complejidad de los

modelos existentes para los procesos de hidrólisis-ultrasonido y de facilitar el desarrollo de una industria sostenible.

*Palabras clave:* hidrólisis ácida, ultrasonido, biomasa, simulación pretratamiento.

## Aplicación del concepto de biorrefinería para el aprovechamiento de cáñamo en Colombia

<sup>1</sup>Laura Daniela Puin Herrera, <sup>1</sup>Iván Darío Gil Chaves, <sup>2</sup>Mario Andrés Noriega Valencia

<sup>1</sup>Centro de Excelencia en Cannabis y Agronegocios, Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá), <sup>2</sup>Grupo de Procesos Químicos y Bioquímicos, Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá)  
lpuin@unal.edu.co, idgilc@unal.edu.co, manoriegava@unal.edu.co

### Resumen

Históricamente, Colombia ha enfrentado desafíos asociados al conflicto armado y la presencia de cultivos ilícitos, lo que ha limitado el desarrollo de alternativas económicas sostenibles para las comunidades rurales. No obstante, la riqueza en recursos naturales y la tradición agrícola del país ofrecen una oportunidad para impulsar modelos productivos innovadores y sostenibles. En este contexto, el cáñamo industrial (*Cannabis sativa* L.) se perfila como una alternativa viable para diversificar la economía nacional, a través de su transformación en productos de alto valor agregado. El cáñamo industrial es una biomasa lignocelulósica con un alto contenido de celulosa (65 %-75 %), hemicelulosa (16 %-18 %) y lignina (3 %-5 %), lo que lo convierte en un recurso idóneo para su valorización en diversos sectores industriales. Teniendo en cuenta lo anterior, la implementación de una biorrefinería permitiría el aprovechamiento integral de esta biomasa, al fomentar un modelo de bioeconomía circular y al ayudar a reducir los impactos

ambientales. En el presente estudio se exploró la aplicación del concepto de biorrefinería para el aprovechamiento del cáñamo mediante un diseño en dos fases, abarcando consideraciones técnicas, económicas y de mercado. En la primera fase se identificaron oportunidades comerciales para productos derivados del cáñamo, como fibras, aceites esenciales, biocombustibles, textiles, plásticos biodegradables, cosméticos, alimentos funcionales y materiales de construcción, evaluando aspectos normativos y potenciales mercados de exportación. En la segunda fase se diseñó un esquema básico de procesos utilizando una metodología jerárquica, secuencial e integral, adaptada a los recursos locales y basada en técnicas sostenibles. Los resultados evidencian que el cáñamo es una materia prima estratégica con alto potencial para la producción de bienes sostenibles y rentables, lo que podría impulsar el desarrollo agroindustrial. Además, la implementación de una biorrefinería no solo fomentaría la diversificación productiva, sino que también contribuiría al desarrollo tecnológico y económico de las regiones en Colombia.

*Palabras clave:* sostenibilidad, bioeconomía, biomasa lignocelulósica, fibras, *Cannabis sativa* L.

---

## Extracción de compuestos fenólicos y evaluación de la capacidad antioxidante de la cáscara del cacao: potencial para la revalorización de residuos agroindustriales

*Lina Lucía Berthel, Liliana María Úsuga  
Manco, Lesly Patricia Tejada Benítez*

Universidad de Cartagena  
lberthel@unicartagena.edu.co, lusugam@unicartagena.edu.co,  
ltejedab@unicartagena.edu.co

### Resumen

En los últimos años, el crecimiento de la población mundial y la rápida industrialización han generado una alta demanda en los procesos productivos y, en consecuencia, un aumento en los residuos agroindustriales. En ese escenario, cada día crece más el interés por la sostenibilidad medioambiental mediante la revalorización de los recursos naturales para la obtención de productos de valor agregado. Dentro de estas fuentes de biomasa lignocelulósica, el cultivo de cacao ha generado gran preocupación por los desafíos socioeconómicos y ambientales en su producción. La cáscara del cacao es el principal residuo producido durante el procesamiento y representa aproximadamente el 75 % del total del fruto. En Colombia se generaron unas 559 422 toneladas de este residuo en 2022. La cáscara del cacao está compuesta por celulosa, hemicelulosa, lignina y una fracción de extraíbles constituidos por pectina, compuestos fenólicos, proteínas y azúcares. En los últimos años, los compuestos fenólicos han ganado un interés significativo, por sus múltiples ventajas, entre ellas, los beneficios para la salud humana y también como una estrategia eficaz para mitigar su impacto ambiental, dada su presencia en los residuos agroalimentarios. La obtención de compuestos naturales bioactivos de la cáscara del cacao son una opción prometedora desde el punto de vista ambiental y económico. Los compuestos bioactivos presentes en los extractos de

plantas naturales, dentro los que se destacan los polifenoles y los flavonoides, han sido ampliamente investigados y usados en aplicaciones como empaques de alimentos, debido a su excelente biocompatibilidad, no toxicidad y potentes propiedades antioxidantes y antibacterianas. Dentro de los estudios que han propuesto la revalorización de residuos agroalimentarios se ha propuesto una valorización de los residuos de cáscara de naranja, originados del procesamientos de jugos, con la obtención de extractos ricos en compuestos fenólicos y celulosa como agente de refuerzo en la producción de películas basadas en alcohol polivinílico. Por lo anterior, este diseño metodológico tuvo como objetivo extraer compuestos fenólicos presentes en la cáscara del cacao para la posterior evaluación de su capacidad antioxidante, como una estrategia de revalorización de este residuo agroindustrial. Los compuestos fenólicos de la cáscara del cacao se obtienen por extracción asistida por ultrasonido utilizando tres sistemas solventes. Posteriormente, se evaluará la capacidad antioxidante de los extractos a través del contenido total de fenoles por el método de Folin-Ciocalteu. El poder antioxidante *in vitro* se determinará mediante el ensayo ABTS (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico)) y la capacidad de atrapamiento de radicales será realizado por el método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo).

*Palabras clave:* residuos de cáscara de cacao, contenido total de fenoles, ensayo ABTS, ensayo DPPH

---

## Implementación de un sistema de detección de hidrógeno de bajo costo durante la codigestión de RAC/vinaza

*Andrés Fernando Barrera Aristizábal, David Andrés Gómez Ríos, Howard Diego Ramírez Malule*

Universidad del Valle  
andres.fernando.barrera@correounivalle.edu.co,  
david.andres.gomez@correounivalle.edu.co,  
howard.ramirez@correounivalle.edu.co

### Resumen

La producción de biohidrógeno mediante fermentación oscura (FO) es una alternativa prometedora para la generación de energía limpia, especialmente en áreas rurales. Sin embargo, la medición precisa del hidrógeno producido en estos procesos suele requerir equipos costosos y complejos, como la cromatografía de gases, lo que limita su implementación en regiones remotas. Además, hay una escasez de estudios que implementen la codigestión de residuos como el residuo agrícola de caña de azúcar (RAC) y la vinaza de caña de azúcar en el proceso de FO, lo que desaprovecha el potencial orgánico de estos residuos y retrasa el avance de la transición energética, específicamente el hidrógeno. La necesidad de soluciones energéticas sostenibles y accesibles en áreas rurales motiva la exploración de tecnologías de bajo costo para monitorear la producción de biohidrógeno. La vinaza y el RAC son residuos abundantes en países como Colombia, y su valorización mediante codigestión reduciría su impacto ambiental mientras se genera energía renovable. Un sensor económico, como el MQ-8, facilitaría la implementación de estos procesos en entornos con recursos limitados. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue monitorear la producción de hidrógeno a partir de la codigestión de vinaza y RAC como sustratos de bajo costo en un proceso de FO, utilizando un sensor MQ-8 como herramienta prospectiva para instalaciones de baja sofisticación

con potencial aplicación para áreas rurales y remotas. Los resultados más destacados fueron: mayores concentraciones de vinaza prolongaron la fase de latencia debido a inhibidores como los polifenoles. Se encontró una relación vinaza/RAC que permitió una mayor eficiencia del proceso. Las mediciones del sensor mostraron un error bajo (SE: 0.6 %-5.0 %, RMSE: 6.08-14.78 ppm) y buena repetibilidad (CV: 1.0 %-8.0 %). En conjunto, estos resultados ponen de manifiesto la eficacia del sensor para medir con coherencia y precisión la variable objetivo en condiciones diversas, lo que establece su fiabilidad para aplicaciones prácticas. La codigestión de vinaza y RAC es factible, pero requiere optimizar la dilución de vinaza para minimizar inhibidores. Si bien el proceso de producción y medición necesita mejoras, esta tecnología ofrece una solución prometedora para el control de los procesos de valorización de residuos orientados a la producción de biohidrógeno, especialmente relevante para las zonas rurales, donde los recursos de la agroindustria están disponibles pero la accesibilidad de los equipos es muy limitada.

*Palabras clave:* residuos fermentación oscura, vinaza, biohidrógeno, caña de azúcar, codigestión.

---

## Enzymatic Production of MLM Triglycerides to Obtain Low Calorie Oil from Avocado Pulp (*Persea americana Hass*) from the East of Antioquia

*Natalia Andrea Gómez Rave*

Universidad de Antioquia  
natalia.gomezr@udea.edu.co

### Resumen

The growing demand for avocados, especially the Hass variety, has highlighted their nutritional and sensory value, earning

them the nickname *green gold*. An analysis by DANE reveals that Sonsón, Urrao, and San Vicente Ferrer are the primary avocado-supplying municipalities in Antioquia, with Sonsón standing out with a 51.19% national share. However, losses in the sale of fresh products have led to the transformation of avocados, with processes such as oil production, gaining increasing importance in their value chain. The consumption of fats and oils in Colombia has increased, reaching 350 million liters annually, about 9 liters per person. This consumption is crucial for health, as fats are the primary energy reserve and transport fat-soluble vitamins. However, excessive intake of fats can lead to non-communicable chronic diseases (NCDs), affecting more than 50% of the adult population. In response, the government has implemented a plan to reduce the consumption of saturated and trans fats. Structured lipids (SL) emerge as a promising food alternative, particularly MLM-type triglycerides, which are easily absorbable and can help mitigate the risks of NCDs. The production of MLM can be optimized using avocado oil and hydrolysis methods with lipases, which could also utilize agro-industrial waste to reduce costs and enhance process sustainability. Additionally, non-commercial enzymes offer a viable option for enzymatic biosynthesis, improving the stability and reuse of biocatalysts. This study proposes investigating the feasibility of using avocados not only as food but also as a basis for developing products that could enhance public health and the agricultural economy in Colombia. Specifically, it aims to incorporate capric acid (C10:0) into avocado pulp oil from the municipality of Sonsón through enzymatic interesterification, using the 1-3 specific lipase from the microorganism *Rhizopus oryzae* covalently supported on cellulose extracted from avocado peel.

*Palabras clave:* avocado oil, structured lipis, capric acid, microencapsulation, lipase.

---

## Comparación técnica de metodologías para la obtención de ácido láctico a partir de la fermentación bacteriana de semillas de aguacate Hass y antillano criollo

*Liset Paola Mallarino Miranda, Jesús David Guerra*

*Cumplido, Lesly Patricia Tejeda Benítez*

Universidad de Cartagena

lmallarinom@unicartagena.edu.co, jguerracl@unicartagena.edu.co,

ltejedab@unicartagena.edu.co

### Resumen

En el mundo, el aguacate se vende tal cual y el uso de sus residuos es limitado como alternativa para obtener productos de valor agregado. Sin embargo, estos residuos se han utilizado en diversas áreas de la ingeniería, como en los biopolímeros y la industria alimentaria. Por su parte, la semilla de este fruto contiene ácidos que por medio de fermentación pueden convertirse en ácido láctico, materia prima de segunda generación para alimentos y polímeros de origen orgánico. Se ha incursionado en la utilización de bacterias, como los lactobacillus para la descomposición de estos ácidos en azúcares reductores y sintetizar los monómeros necesarios para la producción de plásticos orgánicos. Esta investigación tuvo como objetivo obtener ácido láctico mediante la fermentación de dos consorcios de bacterias (CHOOZIT MY 800 y VEGE053) utilizando como materia prima la semilla de dos variantes de aguacate (Hass y antillano criollo), con el fin de lograr una comparación técnica de los rendimientos de ácido láctico. La fermentación se realizó hidrolizando la semilla de aguacate para luego colocarla en contacto con las colonias de bacterias durante 2 días de experimentación. Entre los resultados preliminares se tuvo una disminución relevante del pH en el proceso de fermentación de ambas bacterias de la semilla antillana criolla, como consecuencia de una mayor reducción de azúcares frente al proceso empleando semilla de

aguacate Hass. Se puede concluir que la semilla criolla puede generar un mayor rendimiento de obtención de ácido láctico y convertirse en una materia prima en procesos fermentativos.

*Palabras clave:* residuo, aguacate, semilla, fermentación, biopolímeros.

## Perspectivas y desafíos en la fermentación de biomásas residuales para la obtención de ácido láctico

*Liset Paola Mallarino Miranda, Jesús David Guerra*

*Cumplido, Andrés Felipe Arroyo Movilla*

Universidad de Cartagena

lmallarinom@unicartagena.edu.co, jguerracl@unicartagena.edu.co,

aarroyoml@unicartagena.edu.co

### Resumen

En el mundo, cada año se generan grandes cantidades de residuos agroindustriales, lo que genera graves problemas ambientales, dado que se vierten o se queman. Tales residuos han llevado a la búsqueda constante de productos valiosos y comercializables de alto valor añadido. En este contexto, la fermentación láctica, un proceso biológico en el que intervienen microorganismos como hongos y bacterias lácticas, emerge como una alternativa. Este proceso tiene como objetivo la fermentación de carbohidratos como glucosa, maltosa, sacarosa y lactosa para producir ácido láctico, un compuesto con múltiples aplicaciones en diferentes campos. En la industria alimentaria, actúa como aditivo para regular la acidez y como conservante y saborizante (por ejemplo, yogur o quesos); en la industria farmacéutica y cosmética, en productos de cuidado de la piel, o en la industria química, como materia prima para la producción de plásticos biodegradables. También es posible la síntesis química de ácido láctico, pero presenta diversos inconvenientes, debido a las preocupaciones

ambientales y de seguridad; por el contrario, la fermentación de residuos de biomasa representa una solución económica y ambientalmente sostenible, ya que contribuye a reducir los impactos negativos derivados de los residuos. A pesar de las ventajas que ofrece la fermentación láctica en términos de sostenibilidad y disponibilidad de materia prima, el uso de la lignocelulosa en la producción de ácido láctico enfrenta retos, dada su complejidad. La conversión bioquímica de la biomasa lignocelulósica requiere varios pasos de procesamiento para convertir los carbohidratos estructurales en azúcares monoméricos. Estos pasos incluyen el pretratamiento, la hidrólisis, la fermentación, la separación y la purificación del ácido láctico. Además, la composición de la biomasa varía considerablemente según la especie, lo que afecta la proporción de celulosa, hemicelulosa y lignina. Esta variabilidad implica que se debe seleccionar cuidadosamente el material para cada tipo de fermentación, así como las condiciones en las que se realice, lo que puede alterar la eficiencia y velocidad de la producción de ácido láctico. Este trabajo busca evaluar las perspectivas y los desafíos asociados con la fermentación láctica de diversas biomásas residuales para la obtención de ácido láctico, a fin de avanzar en el estudio de este proceso y su viabilidad, que han mostrado limitaciones, por la falta de tecnologías suficientemente desarrolladas para el tratamiento y la conversión de biomasa en productos como el ácido láctico.

*Palabras clave:* residuos fermentación láctica, biomasa residual, ácido láctico.

---

## Nanoencapsulación de insulina para administración oral como innovación terapéutica de la diabetes mellitus tipo 1

*Juan Isaac Chávez Corona, Andrea Gisela Tinajero Lozada, Sheila Iraís Peña Corona, Gerardo Leyva Gómez, David Quintanar Guerrero, Isabel Gracia Mora*

Universidad Nacional Autónoma de México  
juan.isaac.chavez@gmail.com, tinajeroandrea317@gmail.com

### Resumen

Este trabajo consiste en la fabricación y caracterización de nanopartículas de quitosano gracias al método de gelificación ionotrópica, con el objetivo de facilitar la administración de insulina para el tratamiento alternativo de la diabetes canina por medio de la vía oral. Para su fabricación se empleó quitosano de bajo peso molecular, tripolifosfato de sodio, Tween 80 (P80 o polisorbato 80), insulina humana y Eudragit L-100-55. Las nanopartículas se fabricaron con gelificación ionotrópica; posteriormente, las nanopartículas se purificaron por medio de centrifugación y se caracterizaron considerando el tamaño de las nanopartículas, el índice de polidispersión (PDI) y su potencial Z. Se llevó a cabo la prueba de validación del método analítico para garantizar su precisión del método, exactitud del método, precisión del sistema y linealidad y especificidad del sistema. Los resultados de las nanopartículas recubiertas son un tamaño de 227.56 nm, PDI de 0.106 y potencial Z de  $-16.5$  mV. Los resultados de la validación cumplieron con las especificaciones establecidas en la *Guía de validación de métodos analíticos* del Colegio Nacional de Químicos Farmacéuticos Biólogos de México. Se concluye que las nanopartículas de quitosano cargadas con insulina mostraron características de tamaño, PDI y potencial Z adecuadas para continuar con su estudio. El siguiente paso para su evaluación como potencial nanoacarreador de insulina por vía oral fue caracterizar fisicoquímicamente mediante TEM, FT-IR y DSC; además

de hacer pruebas *in vitro* de liberación para así enfrentar el desafío de la prueba de tolerancia a la glucosa en ratas Wistar con su administración por vía oral forzada.

*Palabras clave:* residuos nanopartículas, quitosano, insulina, diabetes mellitus.

## Producción de biohidrógeno a partir de lactosuero por fermentación oscura

<sup>1</sup>Lina María Chacón Rivera, <sup>1</sup>Carlos Eduardo Rincón Triana,

<sup>1</sup>Aishell Natalia Mancipe, <sup>1</sup>Andrea Paola Romero Palacio,

<sup>1</sup>Paola Andrea Acevedo Pabón, <sup>2</sup>Pablo Elías Velázquez Perilla

<sup>1</sup>Universidad Ean, <sup>2</sup>Universidad Cooperativa de Colombia

lmchacon@universidadean.edu.co, crincon91218@universidadean.edu.co,

amancip93527@universidadean.edu.co,

aromero22437@universidadean.edu.co, paacevedo@universidadean.edu.co,

Pablo.Velasquez@campusucc.edu.co

### Resumen

El hidrógeno es un vector energético estratégico dentro de las políticas de transición energética, debido a que su combustión no genera dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Sin embargo, la mayor parte de su producción actual depende de fuentes fósiles, lo que contradice los objetivos de sostenibilidad. En este contexto, procesos biológicos como la fermentación oscura (FO) emergen como alternativas prometedoras para obtener hidrógeno a partir de residuos orgánicos. En Colombia, la FO se ha explorado con diversos sustratos (por ejemplo, estiércol de cerdo, mucílago de cacao y café) y residuos sólidos urbanos, con resultados alentadores. No obstante, poco se ha explorado el lactosuero como sustrato, a pesar de ser un residuo abundante de la industria láctea con alto contenido de materia orgánica. Esta investigación evalúa la viabilidad de producir biohidrógeno a partir de lactosuero mediante FO, analizando las condiciones que optimizan su generación.

Así, se estudiaron parámetros clave como temperatura, carga orgánica y relación sustrato-inóculo, empleando un diseño experimental Box-Behnken. Esta metodología permite identificar las interacciones entre variables y optimizar a la vez múltiples factores, lo cual es muy útil en procesos fermentativos, donde pequeñas variaciones pueden impactar la producción de modo significativo. Posteriormente, los mejores resultados se escalaron en un reactor piloto de 4 L inicialmente en operación Batch. Los resultados muestran que la temperatura óptima se encuentra entre 30 °C y 35 °C y que una relación sustrato-inóculo de 4 a 5 es favorable para maximizar la producción de hidrógeno a partir de una carga orgánica inicial entre 10 y 15 gSV/L. Bajo estas condiciones, se logró una generación de hidrógeno equivalente al 24 % del volumen total de biogás producido. Este resultado es significativo, considerando que el biohidrógeno posee una densidad energética de 120 MJ/kg, comparada con los 50 MJ/kg del biogás, lo que representa una mayor eficiencia energética, menor peso y mayor facilidad de almacenamiento. Además, esto no genera CO<sub>2</sub> y lo posiciona como una opción más limpia y sostenible. El estudio demuestra el potencial del lactosuero como sustrato en procesos de fermentación anaeróbica para la obtención de biohidrógeno. Se plantea como próximo paso el escalado piloto en sistemas semicontinuos, con miras a una futura implementación industrial. Esto permitiría ofrecer una alternativa tecnológica para la valorización de residuos lácteos, al mismo tiempo que se contribuye a los objetivos de sostenibilidad y transición energética en el país.

*Palabras clave:* biohidrógeno, fermentación oscura, lactosuero, Box-Behnken

# Deep Learning-Enhanced Coarse-Graining of DNA for Scalable Molecular Simulations

*<sup>1</sup>Alejandro Vásquez Echeverri, <sup>1</sup>Stiven Villada Gil, <sup>2</sup>Jarol Molina Mosquera*

<sup>1</sup>Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, <sup>2</sup>Institución Universitaria Pascual Bravo  
avasquee@unal.edu.co, svillada@elpoli.edu.co,  
jarol.molina@pascualbravo.edu.co

## Resumen

This work introduces an innovative computational framework integrating deep learning, particularly Graph Neural Networks (GNNs), into coarse-grained (CG) modeling of DNA molecules. Traditional mesoscale modeling approaches face challenges due to insufficient detail and scalability constraints, especially regarding accurate electrostatic interactions in large DNA structures. We propose a novel methodology using GNNs combined with force-matching techniques to construct highly efficient, scalable, and accurate CG models. The developed model effectively reduces computational complexity by abstracting detailed atomic representations into simplified interaction sites or “beads”, maintaining essential biophysical properties critical for accurate simulation. This method specifically addresses DNA-spermidine systems under varying ionic conditions, demonstrating robust scalability capable of simulating DNA strands at megabase (Mb) length scales. Validation of the proposed model is performed using experimental data and the Ornstein-Zernike (OSF) theory, providing strong evidence for the accuracy and reliability of our simulations. By integrating the OSF theory, the model effectively captures essential thermodynamic properties and structural distributions, aligning closely with experimental observations. The resulting comparisons confirm that the deep learning-enhanced CG model accurately replicates both local and global structural features critical for biological

functionality. Moreover, the proposed methodology addresses significant gaps in current mesoscale modeling approaches, such as the accurate representation of electrostatic interactions and ionic conditions, which are crucial in DNA condensation phenomena. Through rigorous testing and validation, our approach demonstrates superior predictive performance compared to traditional coarse-graining techniques. Our model's capability to simulate large-scale DNA structures efficiently makes it particularly suitable for applications in biotechnology and pharmaceutical research, where understanding complex biomolecular interactions at realistic scales is crucial. Thus, our deep learning-enhanced CG modeling approach significantly advances the precision and applicability of molecular simulations in chemical engineering, promising impactful contributions to computational chemistry, biomolecular research, and beyond by enabling simulations that achieve unprecedented spatial resolution and system sizes.

*Palabras clave:* deep learning, graph neural networks, coarse-graining, DNA simulation.

---

## Producción de etanol mediante el aprovechamiento de los productos del beneficiado húmedo del café

<sup>1,2</sup>Juliana Velandia Téllez, <sup>1</sup>Néstor Eduardo Sánchez Ramírez,  
<sup>1</sup>Ruth Yolanda Ruiz Pardo, <sup>2</sup>Juan Andrés Cano Lozano

<sup>1</sup>Universidad de La Sabana, <sup>2</sup>Green Coffee Company  
julianavete@unisabana.edu.co, nestor.sanchez1@unisabana.edu.co,  
ruth.ruiz@unisabana.edu.co, juan.c@gcc-coffee.com

### Resumen

El café representa el segundo *commodity* más comercializado del mundo, lo que conlleva una generación de subproductos durante su procesamiento, particularmente en la etapa de beneficiado

húmedo ( $\approx 50\%$ ). Estos residuos orgánicos, ricos en azúcares fermentables, presentan un alto potencial para ser valorizados mediante bioprocesos, donde se destaca la fermentación alcohólica como una alternativa para la producción de etanol. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la concentración de sólidos totales en el rendimiento del etanol a partir de mostos generados con subproductos del beneficiado húmedo del café. Se diseñó un experimento factorial con dos factores: presencia o ausencia de sólidos en el mosto, y tres niveles de concentración de sólidos totales, logrados mediante la reducción del contenido de agua bajo diferentes condiciones de temperatura, presión y tiempo. Los resultados indicaron que las condiciones óptimas para la concentración previa del mosto incluyen alta temperatura, presión elevada y tiempos prolongados, que favorecen la acumulación de azúcares fermentables. La mayor producción se obtuvo en el tratamiento sin sólidos, al alcanzarse un rendimiento de 81.2 g/L de etanol, lo que representa un incremento del 72 % respecto a los valores reportados en la literatura ( $\approx 58$  g/L). Este aumento significativo evidencia la eficacia del pretratamiento de concentración y remoción de sólidos en la mejora de la eficiencia fermentativa. En conclusión, el enfoque propuesto permite optimizar la conversión de residuos agroindustriales en bioetanol y contribuir a la sostenibilidad del sector cafetero mediante la integración de procesos de valorización en el marco de una economía circular.

*Palabras clave:* residuos bioetanol, fermentación alcohólica, subproductos del café, valorización de subproductos.

---

## Efecto del tratamiento térmico sobre la solubilización de la cascarilla de café: análisis de severidad y obtención de compuestos

*Juliana Uriza Basto, Yineth Piñeros Castro*

Universidad Jorge Tadeo Lozano

juliana.urizab@utadeo.edu.co, yineth.pineros@utadeo.edu.co

### Resumen

Los materiales lignocelulósicos obtenidos de residuos agrícolas representan una fuente abundante y renovable de compuestos de alto valor agregado, lo que abre una puerta a la investigación de su aprovechamiento para diversos procesos en la industria. Se ha destacado el uso de tratamientos térmicos en estos materiales que promueven la ruptura de enlaces en macromoléculas como la hemicelulosa, la celulosa y la lignina para obtener azúcares, ácidos y demás compuestos orgánicos. A efectos de cuantificar la intensidad de los tratamientos térmicos y su efecto sobre la estructura de la biomasa, se han evaluado distintas condiciones de operación. Uno de los parámetros es el factor de severidad ( $\text{Log } R_0$ ), el cual considera el tiempo de reacción y la temperatura del proceso, y así se constituye en una herramienta para la optimización de procesos extractivos. El presente trabajo evaluó el efecto de 3 tratamientos térmicos (160 °C, 180 °C y 200 °C, durante 30 min, con un factor de severidad de 6.55, 7.25 y 8.39, respectivamente) sobre el proceso de extracción con agua caliente comprimida aplicados a cascarilla de café arábica, con el objetivo de estudiar su influencia en la solubilización de la biomasa y la obtención de compuestos derivados como furfural, ácido acético y azúcares como xilosa, glucosa y arabinosa, presentes en la fracción líquida. Los resultados mostraron que con una severidad de 8.39 se logró una mayor liberación de compuestos de degradación. En el tratamiento a 200 °C se obtuvieron 60.76 mg/gB.S. de ácido acético y 26.83 mg/gB.S. de furfural; bajo

esta condición se alcanzó un 21.2% de solubilización de la biomasa. Adicionalmente con una severidad de 7.25 se obtuvo la mayor cantidad de azúcares solubilizados, especialmente xilosa y arabinosa en concentraciones correspondiente a 464 mg/gB. S. y 89.9 mg/gB. S., los cuales pueden usarse para la obtención de productos de valor agregado. Por lo tanto, este trabajo demuestra que los tratamientos térmicos asistidos con agua a altas temperaturas representan una alternativa efectiva y sostenible para el aprovechamiento de residuos lignocelulósicos, pues con ellos se obtienen compuestos de valor agregado que pueden contemplarse bajo el concepto de biorrefinerías.

*Palabras clave:* residuos biomasa, tratamiento térmico, biorrefinerías, compuestos de degradación.

## Producción de biogás a partir de estiércol de cerdo en un sistema piloto semicontinuo para escalado en plantas rurales: un balance entre rendimiento y estabilidad del proceso

*<sup>1</sup>Cornelis Bumharter, <sup>1</sup>Marcelo F. Ortega, <sup>2</sup>Lina María Chacón Rivera, <sup>3</sup>Iván Cabeza, <sup>2</sup>Paola Andrea Acevedo Pabón, <sup>4</sup>Pablo Elías Velásquez Perilla*

<sup>1</sup>Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía, <sup>2</sup>Universidad Ean, <sup>3</sup>Universidad de La Sabana,

<sup>4</sup>Universidad Cooperativa de Colombia

cornelis.bumharter@alumnos.upm.es, cornelis.bumharter@alumnos.upm.es, lmchacon@universidadean.edu.co, ivan.cabeza@uniabana.edu.co, paacevedo@universidadean.edu.co, Pablo.Velasquez@campusucc.edu.co

### Resumen

Cada vez cobra mayor importancia el manejo de residuos sólidos, debido a que los residuos pueden valorizarse para fines energéticos o de otro uso. La digestión anaeróbica es uno de los métodos más efectivos, porque permite obtener

biogás controlando variables de proceso como la temperatura, el pH y la carga orgánica (OLR, por sus siglas en inglés). En este estudio se usa el estiércol de cerdo para producir biogás, lo que permite aprovechar un proceso que ocurre de manera espontánea en ausencia de oxígeno. El objetivo del estudio fue mejorar las eficiencias operativas de los reactores a escala doméstica, mediante la identificación de un régimen de alimentación que maximizara la producción de biometano, expresado como rendimiento total por unidad de sustrato alimentado. El estudio se realiza con cuatro reactores piloto de 4 L que operaron de forma semicontinua. Se controló la carga diaria de sustrato (estiércol) en diferentes proporciones para cada reactor bajo un sistema que hace el seguimiento a la temperatura, el pH, la generación de biogás en litros y la cantidad de metano producido en cada unidad. Se ensayaron diferentes tasas de carga orgánica, comprendidas entre 5 y 11 g de sólidos volátiles (SV) por litro/día (L·día). El mejor desempeño se obtuvo con una carga de 9 g SV/L·día, alcanzando una reducción de sólidos volátiles del 79.3 %, un rendimiento de biometano por OLR de 8.12 L/g y una producción total de biometano de 16.77 L/g de SV alimentado. A partir de los datos y con el fin de lograr el escalado industrial, se sugiere no superar una OLR de 8 g SV/L·día, ya que esto garantiza la estabilidad del proceso, en cuanto al control del aumento de la presión y la formación de espuma, sin comprometer la estabilidad del proceso biológico que se presenta cuando se produce una acumulación ácidos grasos volátiles y una disminución del pH comportamientos que se presentaron en los reactores operando a 9 y 11 g SV/L·día. Como consideración final se recomienda aumentar el tiempo de retención del digestato en el reactor, ya que se detectó que el digestato extraído aún presentaba una alta demanda química de oxígeno, lo que indica un potencial desaprovechado para la conversión energética. De acuerdo con los resultados, se encuentra que este estudio presenta una alternativa energética

con la cual mitigar los efectos del cambio climático, facilitar el tratamiento de residuos orgánicos y generar un biocombustible para el autoconsumo en comunidades rurales.

*Palabras clave:* residuos digestión anaerobia, carga orgánica, estiércol de cerdo, condiciones del reactor.

---

## Producción de bioetanol a partir de residuos agroindustriales colombianos mediante sacarificación y fermentación simultánea

*Sebastián Mauricio Yandar Romo, Javier Andrés Dávila Rincón*

Universidad Nacional de Colombia  
syandar@unal.edu.co

### Resumen

En este trabajo se evaluó la producción de bioetanol a partir de bagazo de caña de azúcar como residuo agroindustrial disponible por la producción de azúcar en Colombia, aplicando un proceso de sacarificación y fermentación simultánea (SSF). El bagazo se recolectó de un trapiche artesanal de la región de Villavicencio, se secó durante 4 días al sol y, posteriormente, 4 horas en estufa a 60 °C. Se molió y tamizó hasta obtener una fracción menor a malla 14. Posteriormente, se realizó un pretratamiento con ácido sulfúrico al 4% (v/v) y a 121 °C durante 60 min, para alcanzar un valor inicial de 6.8 °Brix en el hidrolizado. Luego se ajustó el pH a 5.11 utilizando 1 M de NaOH como tampón, que permitió la activación de la enzima Cellic® CTec2 (Novozymes) en condiciones de 45 °C por 1 h para la activación de la sacarificación enzimática. Una vez activada la sacarificación enzimática, se inició la fermentación, la cual se llevó a cabo sin separación entre fases durante 30 h, realizando un seguimiento cinético de los grados Brix y

el etanol producido. Se comenzó el proceso con un valor de 10.2 °Brix y descendió hasta 6.12 °Brix, con una producción máxima de 2.65 mL de etanol en 100 mL de medio de cultivo. Se obtuvo una curva cinética ajustada a un modelo cúbico con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9977$ , que refleja una buena correlación entre el consumo de azúcares y la producción de etanol. Los resultados sugieren que el bagazo de caña, tratado adecuadamente mediante pretratamiento ácido y sacarificación enzimática con fermentación simultánea, constituye una alternativa viable para la obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas disponibles localmente, y que ello se alinea con los objetivos de sostenibilidad y aprovechamiento de biomasa en zonas rurales de Colombia.

*Palabras clave:* sacarificación y fermentación simultáneas, pretratamiento ácido, fermentación, bioetanol, enzimática.

---

## Extracción y caracterización de compuestos bioactivos de borra de café utilizando la tecnología de extracción en frío

*Lina María Betancourt Quintero, Guillermo Torres  
González, Javier Andrés Dávila Rincón*

Universidad Nacional de Colombia  
lbetancourtq@unal.edu.co, gutorresg@unal.edu.co, jadavilar@unal.edu.co

### Resumen

Una de las principales problemáticas ambientales actuales es la gestión y aprovechamiento de los residuos generados por la actividad industrial y social. En el caso de la agroindustria del café, solo el 9.5 % del peso total del fruto se emplea en la preparación de bebidas, lo que deja una gran cantidad de subproductos. Dado que el café es el segundo *commodity* más

comercializado en el mundo, su industria es responsable de una significativa generación de residuos. Dentro de estos subproductos, la borra del café ha sido objeto de estudio, por su potencial para la obtención de compuestos de valor agregado, ya que se le pueden extraer aceites mediante técnicas de extracción sólido-líquido utilizando etanol como solvente, alcanzando un rendimiento del 14.15 % cuando el proceso se lleva a cabo a 78 °C durante 4 h. Por otro lado, la extracción en frío es una técnica eficiente para extraer terpenos de la biomasa, con el fin de maximizar los rendimientos y mantener la calidad de los compuestos activos, es decir, es la más recomendada y prometedora comparada con métodos tradicionales de extracción. Además, se ha demostrado que las bajas temperaturas que maneja este método mejoran la selectividad hacia los terpenos; no obstante, aunque las extracciones a temperatura ambiente son efectivas, requieren procesos adicionales de purificación. En este trabajo, primero, se evaluó el contenido inicial de aceite en la borra de café usando la extracción Soxhlet por medio de la cual se obtuvo un 11.3 % de aceite. Luego se estudió la influencia de las variables temperatura (las cuales variaron entre -20 y -25 °C), tiempo de extracción (de 30 a 60 min) y pH (entre 6.1 y 4) sobre el rendimiento de la extracción del aceite usando extracción en frío. Los resultados son valiosos para extender la extracción en frío a otro tipo de materias primas; además, apuntan a que las condiciones más apropiadas que se han obtenido hasta el momento respecto a temperatura, pH y tiempo de extracción en frío del aceite de la borra de café serían -20 °C, pH de 6.1 en 30 min, con las cuales se ha logrado un rendimiento del 9.18 % de aceite respecto a la cantidad de borra procesada.

*Palabras clave:* residuos extracción en frío, borra de café, bioactivos, extracción Soxhlet.

---

## Valorization of Cocoa Pod Husk from the Quindío: A Multifunctional Approach for Sustainable Bioproduct Development

*<sup>1</sup>Jhully Paulin Martínez-Giraldo, <sup>1</sup>Lina Marcela Agudelo-Laverde, <sup>2</sup>Diego Fernando Roa-Acosta*

<sup>1</sup>Universidad del Quindío, <sup>2</sup>Universidad del Cauca  
jpmartinez@uniquindio.edu.co, lmagudelo@uniquindio.edu.co,  
droa@unicauca.edu.co

### Resumen

The cocoa industry generates substantial amounts of cocoa pod husk, accounting for approximately 60-79% of the total raw material. This by-product is commonly discarded, despite its high potential as a source of dietary fiber and bioactive compounds, particularly flavonoids such as proanthocyanidins (58%), catechins (37%), and anthocyanins (4%). Its valorization as a functional food ingredient aligns with the principles of sustainability and the circular economy, while also offering a promising opportunity to generate additional income for smallholder farmers and reduce agroindustrial waste. Given this valorization potential and the growing demand for functional ingredients, this study aims to propose utilization strategies for cocoa pod husk by evaluating the physicochemical, thermal, structural, and techno-functional properties of the CCN51 variety. Cocoa pods were harvested from farms in the Quindío region of Colombia. The pods were disinfected, chopped, and dried at two different temperatures (40 °C and 60 °C), then milled into flour. Physicochemical analyses included moisture content, pH, titratable acidity, color parameters, ash, dietary fiber, and protein content. Thermal analysis was conducted using differential scanning calorimetry (DSC) over a temperature range of -40 °C to 350 °C. Zeta potential ( $\zeta$ ) was measured at pH levels 4.5, 7.0, and 9.0 to assess surface charge behavior and colloidal stability. The rheological profile was characterized through

amplitude sweep, flow curve, filling curve, and thixotropy tests. Flow behavior was modeled using the Herschel-Bulkley equation to estimate viscosity and yield stress under different shear rates at three flour concentrations (1 %, 3 %, and 6 %). Significant differences were observed between drying conditions in terms of fiber, protein, and titratable acidity. Rheological modeling confirmed a shear-thinning behavior, with samples dried at 40 °C exhibiting higher viscosity and yield stress, suggesting enhanced structural integrity due to protein-colloid interactions. The Herschel-Bulkley model demonstrated a strong fit across treatments ( $R^2 > 0.95$ ). Zeta potential values were more negative at lower pH, attributed to the interaction between pectic hydroxyl groups and water molecules. However, the system remained stable across all pH levels tested, indicating potential for use as a stabilizer or emulsifier in colloidal food systems. Furthermore, the flour's protein, fiber, and cellulose contents exceeded values reported in the literature, highlighting its potential as a fiber source, animal feed supplement, and raw material for biodegradable food films.

*Palabras clave:* *residuos* byproducts, cocoa pod, valorisation, rheological behavior, Z potential.

---

## Solubility of Carotenoids in Supercritical Fluids – Review of Experimental Data and ECM Equation-of-State Modeling Approach

<sup>1</sup>L. Antonio Estévez, <sup>2</sup>Arnulfo Antonio Tarón  
Dunoyer, <sup>2</sup>Fredy de Jesús Colpas Castillo

<sup>1</sup>University of Puerto Rico, <sup>2</sup>Universidad de Cartagena  
antonio.estevez@upr.edu, atarond@unicartagena.edu.co,  
fcolpascl@unicartagena.edu.co

### Resumen

Supercritical Fluid Extraction (SFE) is widely used for extracting solid compounds from vegetables matrices due to its many advantages over traditional extraction methods. However, the optimization and modeling the SFE process requires knowing the solubility of the compound in the SCF (usually scCO<sub>2</sub>). The prediction of solubility using theoretical models can provide valuable information for the design and optimization of SFE processes. This work presents a brief review of the literature experimental data of the solubility of some carotenoids (namely,  $\beta$ -carotene, capsanthin, and lycopene) in scCO<sub>2</sub>. Then, the use of the equation-of-state (EoS) model proposed by Estévez, Colpas, and Müller (ECM model), is used to illustrate this modeling approach. The ECM model relies on two adjustable parameters ( $\alpha$  and  $\beta$ ) calculated by regression of the experimental solubility data of the solid compound at a given temperature. Unlike standard EoS models, this model does not require the critical properties of the solid solute, which are fictitious, since they decompose before reaching their critical point. The use of this approach showed that the ECM model was effective in correlating the solubility of  $\beta$ -carotene, capsanthin, and lycopene in scCO<sub>2</sub> with just two adjustable parameters ( $\alpha$  and  $\beta$ ). The calculated values were compared to experimental values, and the average errors were found to be between 5% and 19%, which is acceptable for practical purposes. This is particularly important given the

difficulties in performing prototype scale experimentation. The ECM approach turns out to be effective in predicting the solubility of carotenoids in  $scCO_2$ . Further research could focus on investigating the behavior of  $\alpha$  and  $\beta$  with respect to temperature and other physicochemical properties of carotenoids. This would improve our understanding of the solubility behavior of carotenoids in  $scCO_2$  and aid in the optimization of SFE processes.

*Palabras clave:* residuos separations, carotenoids, solubility, supercritical fluids, biotechnology.

---

## Ciencia, industria y colaboración nacional como ejes de innovación en productos funcionales

*Lissette Ariza Corredor, Jorge Mario Giraldo*

Inbiotech

[lissette.arizac@inbiotech.co](mailto:lissette.arizac@inbiotech.co), [jorge.giraldoc@inbiotech.co](mailto:jorge.giraldoc@inbiotech.co)

### Resumen

Colombia, como país megadiverso, ofrece un potencial único para la obtención de extractos naturales con valor funcional, particularmente en el desarrollo de soluciones dirigidas a la salud y el bienestar humano. La aplicación científica de estos recursos, combinada con procesos industriales rigurosos y alianzas interinstitucionales, permite transformar este potencial natural en desarrollos tecnológicamente viables. Desde el laboratorio Inbiotech, en Manizales, se ha impulsado un modelo de innovación basado en la estandarización de extractos naturales, el desarrollo de técnicas para su aprovechamiento controlado y la validación de su calidad biofuncional. Desde allí se han caracterizado y optimizado más de ocho extractos, a través de procesos analíticos internos, en un entorno de

investigación donde convergen la biotecnología, la ciencia de materiales y la formulación funcional. Los avances alcanzados han sido posibles, gracias a la articulación constante con instituciones académicas, mediante convenios que integran diseño metodológico, análisis de resultados y validación experimental en etapas de desarrollo. Esta colaboración no solo fortalece la calidad científica de los desarrollos, sino que también contribuye a la formación de capacidades técnicas nacionales y a la consolidación de una bioindustria con enfoque sostenible. La sinergia entre biodiversidad, conocimiento y colaboración ha demostrado ser una vía eficaz para la generación de productos funcionales diferenciados, con impacto local y proyección global. Este modelo de integración, liderado desde una entidad nacional, es una respuesta concreta a los desafíos contemporáneos en salud, sostenibilidad y transferencia tecnológica para necesidades globales de salud, funcionalidad y bienestar humano.

*Palabras clave:* ciencia, industria, colaboración, biodiversidad nacional, bienestar humano

---

## Ingeniería de alimentos

La ingeniería de alimentos conecta ciencia, procesos y mercados para garantizar inocuidad, calidad, nutrición y sostenibilidad en cadenas que hoy operan bajo requerimientos de cambio climático, costos energéticos, nuevas exigencias regulatorias y demanda por productos más frescos. La eficiencia termoenergética y la descarbonización del procesamiento son ejes técnicos. El frío (producción-procesamiento-distribución) explica pérdidas relevantes por ausencia de refrigeración y aporta cerca del 4% de las emisiones globales (entre equipos y pérdidas por falta de frío), por lo que optimizar el *cold chain* es palanca de impacto.

Para el caso de Colombia, la estructura regulatoria la lidera el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima), esto es, registros/permisos, estableciendo requisitos de inocuidad, buenas prácticas y disminución de manera general del riesgo. La Cámara de la Industria de Alimentos (ANDI) articula la agenda sectorial (innovación, regulación y talento) con las necesidades industriales en materia de regulación y otros. En sostenibilidad, el Ministerio de Ambiente colombiano estima 10 millones de toneladas/año de desperdicio, lo que alinea la agenda de ingeniería con reducción de mermas, modelos de aprovechamiento y logística fría eficiente. En este aparatado, podemos encontrar los trabajos expuestos en la materia.

## Hydrogenation, Mixtures and Interesterification of Palm Oil (*Elaeis guineensis*)

*Víctor Sotero, Dora García, Juana Muñoz, Úrsula Monteiro, Ena Velazco, Carlos Saavedra*

Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia  
vsoteros@unia.edu.pe

### Resumen

The search for useful fats for the preparation of margarines and similar products has led to the research of alternative products, such as in this case hydrogenating and/or interesterifying palm oil (*Elaeis oleifera*), in order to be applied in these products and without risk to health, such as the presence of trans fatty acids. The hydrogenation and interesterification of palm oil mixtures is presented in this work., for which the palm oil was hydrogenated, coming from the Ucayali Region-Peru. For the hydrogenation, a three-liter reactor was obtained and it was carried out with a nickel catalyst at 125 °C (PH1) and 150 °C (PH2), both at 1 atm. With these products, seven tertiary mixtures were made using refined palm oil (RP) and these were subjected to interesterification using sodium methoxide as a catalyst. According to the results, it was found that the melting points of the hydrogenated ones were 28.3 °C and 45.3 °C, and those considered better for food products such as margarines were the mixtures of PH1 and PH2 (50:50) and AP, PH1 and PH2 (33.3:33.3:33.3), with 36 °C. and in the interesterified ones of AP and PH1 (50:50). The concentration of elaidic fatty acid (trans) in PH1 and PH2, was 2.7 and 11.8%, respectively. The response surfaces are presented to obtain the ideal mixtures, whether they are interesterified or not.

*Palabras clave:* hydrogenation, interesterification, *Elaeis guineensis*.

## Preparación de margarinas con aceite de palma con baja concentración de ácidos grasos trans

*Víctor Sotero, Dora García, Juana Muñoz, Úrsula Monteiro, Ena Velazco, José Saavedra*

Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia  
vsoteros@unia.edu.pe

### Resumen

Es necesario utilizar los recursos de cada región para producir sus alimentos o derivados. En tal sentido, el objetivo del presente trabajo fue formular dos tipos de margarinas basándose en los productos hidrogenados del aceite de palma (*Elaeis guineensis*) y de baja concentración de ácidos grasos trans. La hidrogenación del aceite de palma de la región Ucayali se realizó en un reactor de 3 L a 125 °C y 1 atm (PH1) y a 150 °C y 1 atm (PH2), utilizando 7 g de catalizador de níquel. Las margarinas se formularon con el 80 % de aceite de palma hidrogenado PH1 y PH2 en la fase oleosa; además de grasa de palma, fue la de leche,  $\beta$ -caroteno y el 20 % de fase acuosa con agua, sorbato de potasio, ácido cítrico, cloruro de sodio, extracto de tomillo y leche en polvo. Se realizaron los ensayos A y B. La grasa de la mezcla A fue del 33.3 % de aceite de palma PH1 y PH2, respectivamente, y la de B, de 70 % de GH2 y 30 % de aceite de palma. La presencia de ácido eláidico (trans) fue de 11.8 y 2.7 % en PH1 y PH2, respectivamente; los índices de yodo: 22.7 y 22.6 g/100 g; de saponificación: 270 y 269.8 mg/g, y los puntos de fusión, 36 y 30 °C, para A y B, respectivamente. Los coeficientes de extinción a 232 nm fueron de 0.254 y 0.272 en A y B, lo cual indica la baja presencia de ácidos grasos trans.

*Palabras clave:* residuos margarinas, *Elaeis guineensis*, hidrogenación.

## Rheological Properties of Dairy and Plant Proteins for Innovative Food Applications

*María de los Ángeles Calderón Vaca*

Universidad de Miami y Colegio de Ingenieros Químicos y Ambientales de Pichincha  
mdc298@miami.edu

### Resumen

Proteins are essential to our diet, and with growing environmental and economic concerns, there's a shift towards plant proteins as alternatives to dairy proteins. This study aims to develop a methodology for evaluating the rheology of plant and dairy proteins, which can be applied to biopharmaceutical proteins like monoclonal antibodies. Current methods for measuring viscosity require large sample volumes, which poses a challenge when working with biopharmaceuticals. Unlike dairy proteins, plant proteins can exhibit highly variable characteristics when evaluating their rheological behaviors. Plant protein sources can be differentiated based on their sources such as legumes, cereal, lentils, oats, etc. Plant protein will exhibit different profiles based on their source. An example of this is legume-sourced plant proteins form gels while cereal-derived plant proteins may be more elastic and demonstrate a different texture profile. The variability in texture highly impacts the consumer experience and therefore, acceptance of plant-based foods. When discussing rheological properties, the main factors to consider are elasticity, viscosity, gelation, and the overall texture profile. Dairy-based proteins are more well-established and are able to form stable formulations such as emulsions, gels, and foams. Plant proteins, in comparison, demonstrate a lower solubility, less predictability when forming emulsion, and varying gelation kinetics. To optimize food processing and formulation of plant proteins, it is essential to understand their behavior under conditions such as pH, concentration, and temperature to improve insights. Protein solutions often

behave like non-Newtonian fluids. The shear rate effect on viscosity should be considered at different stages of product development, processing, storage, and application.

*Palabras clave:* residuos dairy, proteins, plants, rheology, formulation.

## Diseño de un producto alimentario a partir de lactosuero proveniente del Departamento de Nariño

<sup>1</sup>Juan Sebastián Delgado Burgos, <sup>2</sup>Paola Andrea Ortega Guerrero,  
<sup>1</sup>Mario Andrés Noriega Valencia, <sup>1</sup>Juan Carlos Serrato Bermúdez

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá), <sup>2</sup>Universidad Mariana  
jdelgadobu@unal.edu.co, ingenieriaambiental@umariana.edu.co,  
manoriegava@unal.edu.co, jcserratob@unal.edu.co

### Resumen

El sector lácteo es uno de los principales motores económicos en Colombia y Nariño. La producción de queso genera lactosuero como subproducto, que por su composición puede ser contaminante. En Nariño, los productores no disponen el lactosuero, sino que lo venden como abono o alimento animal, desaprovechando sus alternativas de valorización, por su alto contenido de lactosa y proteínas de gran valor nutricional. Este subproducto puede utilizarse con muchos alimentos; sin embargo, para elegir la mejor opción es necesario aplicar metodologías de diseño de producto. Esta metodología fomenta la innovación, ahorra recursos y aumenta el *speed-to-market* de los nuevos desarrollos, respondiendo a las tendencias del mercado alimentario orientado hacia la demanda, y consiste en identificar necesidades del mercado, transformarlas en parámetros técnicos, hacer la selección final de un producto y su posterior manufactura. En la identificación de necesidades se debe consultar a los futuros consumidores y disponer de herramientas como las encuestas, de las cuales existen múltiples

modelos; pero uno de los más utilizados en los últimos años es el MaxDiff. Consiste en preguntar a las personas sobre su opción más y menos preferida de una lista de características de producto. Para la selección es posible usar el despliegue de la función calidad, que relaciona las necesidades de los consumidores con los parámetros técnicos de ingeniería que incida sobre ellas. Así, se seleccionó un producto alimentario que aprovecha el lactosuero dulce de Nariño mediante las herramientas mencionadas. Inicialmente, se determinó mediante un análisis de tendencias que los consumidores buscan productos saludables, ricos en proteína y fibra y reducidos en grasas y azúcares, que sean sostenibles y representen su nicho específico. A partir de aquí, se seleccionó el producto con las mejores perspectivas económicas, según los datos de mercado para generar un nuevo diseño. Con la intención de identificar las necesidades, se aplicó una encuesta MaxDiff a 250 consumidores potenciales. Esta información se complementó con entrevistas a 30 expertos del mercado lácteo nacional y con visitas técnicas a plantas procesadoras de lácteos en el Departamento de Nariño. Los resultados se organizaron para determinar el listado de necesidades y las características de ingeniería específicas que las satisfacen. Con estos resultados se obtuvo otro listado de más de 80 potenciales productos que se filtró con matrices de selección hasta alcanzar 5 productos que se sometieron la función calidad para llegar a la decisión final. El producto escogido responde a lo que busca el mercado y posee una producción industrial factible con las tecnologías disponibles. Este se formulará, preparará y someterá al análisis bromatológico y sensorial, determinando su tabla nutricional y etiquetado frontal.

*Palabras clave:* lactosuero, Nariño, diseño de productos, alimentos, diseño conceptual de procesos.

---

## Evaluación de la cadena productiva para el aprovechamiento de los residuos sólidos del eje de inflorescencia de la piña (*Ananas comosus*)

*Casta Zeceña Zeceña*

Universidad de San Carlos de Guatemala  
2857614121908@ingenieria.usac.edu.gt

### Resumen

Cuando la piña (*Ananas comosus*) se procesa industrialmente, se generan desechos como la cáscara (29 %-40 %), la corona (2 %-4 %), el corazón o eje de la inflorescencia (9 %-10 %) y el pedúnculo (2-5 %), los cuales pueden constituir hasta un 59 % del peso de la fruta. Además, los sólidos centrifugados provenientes de la elaboración de jugos también se pueden descartar según las características del producto final; pero es posible utilizar todos estos subproductos para diversos objetivos, como la extracción de bromelina, ácido cítrico o fibras, o la elaboración de vinagre o alimento para animales. El proyecto consistió en evaluar la cadena productiva para aprovechar la cáscara y el eje de la inflorescencia de la piña, resultado de los residuos sólidos del procesamiento industrial en una empresa manufacturadora de piña enlatada del departamento de Guatemala, y generar productos útiles para la industria alimenticia. La evaluación se llevó a cabo mediante la cuantificación de parámetros físicos, químicos, microbiológicos y organolépticos, en las diferentes etapas de la implementación de una cadena productiva del desecho generado (corazón de la piña y cáscara). Además, se establecieron los diagramas de flujo para la cadena productiva del desecho generado, y dentro de la innovación de la cadena productiva del desecho se utilizaron granos de tínicos, proporcionados por una familia particular residente en la ciudad de Guatemala y cultivados por el equipo de investigación. Se determinó que la cáscara de la piña posee una mayor actividad enzimática que el jugo

del eje de la inflorescencia previo a la pasteurización. Los sustratos fermentados pueden considerarse bebidas probióticas a partir de las 24 h de fermentación y la bebida que tuvo la mayor aceptación es la de proporciones 70:30.

*Palabras clave:* actividad enzimática, cadena productiva, eje de la inflorescencia de la piña, granos de tíbcos, probióticos.

## Cinética de la producción de galactooligosacáridos (GOS) con dos $\beta$ -galactosidasas: efecto del ion metálico y modelo matemático

<sup>1</sup>Mario Andrés Noriega Valencia, <sup>1</sup>Juan Carlos Serrato Bermúdez, <sup>2</sup>Fabián Rico Rodríguez, <sup>2</sup>Juan David Rosales

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá), <sup>2</sup>Universidad de Cartagena  
manoriegava@unal.edu.co, jcserratob@unal.edu.co, faricoro@unal.edu.co,  
jdrosalesr@unal.edu.co

### Resumen

Los galactooligosacáridos (GOS) son carbohidratos funcionales producidos a partir de diferentes fuentes de lactosa, como el suero de queso. Son relevantes en la industria láctea; sin embargo, representan un desafío debido a su inhibición, por la presencia de iones metálicos. Se estudió la producción enzimática de GOS a partir de lactosa utilizando  $\beta$ -galactosidasa de *Kluyveromyces lactis* y *Aspergillus oryzae* en presencia de iones metálicos (calcio, potasio, sodio y magnesio). Además, se propuso y correlacionó un modelo enzimático cinético para explicar el efecto de los iones metálicos en la producción de GOS. Para ambas enzimas se observaron efectos de inhibición más fuertes en presencia de calcio, seguido de potasio, sodio y magnesio. Por lo tanto, son necesarios adicionales para la remoción de calcio antes de la reacción enzimática para aplicaciones industriales. Además, el modelo cinético de segundo

orden propuesto en este trabajo describe la producción de GOS utilizando ambas enzimas con presencia de iones metálicos. Se estableció que, para la producción de GOS utilizando  $\beta$ -gal de *K. lactis* y *A. oryzae* con diversas sales, el calcio mostró la mayor inhibición para ambas enzimas, seguido del potasio y el sodio. Un modelo cinético de segundo orden describió con precisión la producción de GOS, reflejando mejor la inhibición de la hidrólisis que la inhibición de la transgalactosilación.

*Palabras clave:* modelado cinético, síntesis de GOS,  $\beta$ -galactosidasa, fuentes de lactosa, suero de queso, inhibición iónica, inhibición enzimática.

---

## Curcumin as an Antioxidant Additive to Reduce Lipid Oxidation in Mozzarella Cheese

*Manuel Fernando Valero Valdivieso, David Alejandro Ruiz Galeano, Luis Eduardo Díaz Barrera, Yomaira Uscátegui Maldonado*

Universidad de La Sabana

manuelvv@unisabana.edu.co, davidruiga@unisabana.edu.co,

luisdb@unisabana.edu.co, yomaira.uscateguil@unisabana.edu.co

### Resumen

The ripening of cheese is a complex process that involves significant physical and chemical transformations. Among these, lipid oxidation plays a crucial role in both maturation and spoilage. To the best of the authors knowledge, the use of curcumin as an antioxidant additive was ever used to package cheese. This study explored the use of polyurethane films infused with curcumin as an antioxidant additive to slow down lipid oxidation in Mozzarella cheese stored at 4 °C during 7 days. Three treatment conditions were tested: unpackaged Mozzarella cheese, cheese packaged with polyurethane films without additives, and cheese wrapped in polyurethane films

containing 0.5% w/w curcumin. The antioxidant properties of the polyurethane films were analyzed using the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) test, while lipid oxidation in the cheese was evaluated through the thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) method. Although the polyurethane films with curcumin demonstrated strong antioxidant activity in the DPPH test (58%), they did not significantly reduce lipid oxidation in the packaged cheese compared to films without additives. In fact, lipid oxidation was higher in both packaged treatments than in the unpackaged cheese, the TBARS value of negative control was  $6.42 \pm 1.22$ , and the TBARS value of packaged cheese is  $11.1 \pm 1.5$ . Additionally, packaging appeared to shorten the cheese's shelf life relative to the negative control. This effect may be linked to the low water vapor transmission rate of polyurethane films, which likely increased moisture retention within the package, promoting enzymatic and microbiological activity in the cheese.

*Palabras clave:* antioxidant, curcumin, films, food packaging, Mozzarella cheese, polyurethane, shelf life.

---

## El mucílago de chíá como alternativa a gomas espesantes comerciales: evaluación exploratoria

*Valery Andrea Llanque Suárez, Mariela Cecilia Vega Panozo*

Universidad Católica Boliviana "San Pablo"  
valery.llanque@ucb.edu.bo, mvega@ucb.edu.bo

### Resumen

El mucílago de chíá posee una gran capacidad para retener agua y formar dispersiones viscosas, lo que lo hace un excelente espesante natural y una alternativa más sostenible y natural a los espesantes comerciales. Sin embargo, la optimización de su proceso de obtención puede ser un reto técnico; por esta

razón, el estudio tuvo como objetivo evaluar y optimizar la extracción del mucílago de chía a través de tres métodos, comparando variaciones en temperatura, tiempo de extracción y técnicas de secado: 1) extracción: filtrado y decantación; secado: distribución en balones de 500 ml; congelación a  $-20^{\circ}\text{C}$  y 36 h; liofilización:  $-60^{\circ}\text{C}$ , 90 Pa y 120 h; resultado: 10 % de rendimiento. 2) Centrifugación: en una bandeja con papel encerado, horno con aire caliente de recirculación a  $50^{\circ}\text{C}$ , 18 h; resultado: 10 % de rendimiento. 3) Centrifugación: distribución en balones de 500 ml, congelación a  $-20^{\circ}\text{C}$  y 12 h; liofilización:  $-60^{\circ}\text{C}$ , 90 Pa y 50 h; resultado: 25 % de rendimiento. Los resultados muestran que el método 3 presentó mayor rendimiento de mucílago (25 %), superando significativamente los métodos convencionales. Aunque con los métodos 1 y 2 fue más fácil extraer el mucílago, su menor eficiencia en la recuperación de biomaterial limita su aplicabilidad a escala industrial, como espesante natural. Además, comparando la viscosidad, se obtuvieron 11 862 mPa·s para el mucílago de chía (método 3) y 14 636 mPa·s para la goma xantana. Se concluye que el mucílago de chía tiene un gran potencial como alternativa a los espesantes comerciales. La optimización del proceso de extracción y secado permite mejorar la eficiencia de recuperación y preservar sus propiedades funcionales.

*Palabras clave:* mucílago de chía, espesantes naturales, hidratación, extracción, secado.

---

## El mucílago de linaza como potencial sustituto de gomas espesantes comerciales: estudio exploratorio

*Valery Andrea Llanque Suárez, Mariela Cecilia Vega Panozo*

Universidad Católica Boliviana “San Pablo”  
valery.llanque@ucb.edu.bo, mvega@ucb.edu.bo

### Resumen

Principalmente, el mucílago de linaza se extrae mediante procesos acuosos y está influenciada por variables como la temperatura, el tiempo de extracción y la proporción agua-semilla. Sus propiedades incluyen la capacidad de absorber grandes cantidades de agua y formar geles que mejoran la estabilidad y textura de diferentes formulaciones. Las gomas espesantes comerciales, como la goma xantana y la goma guar, son ampliamente utilizadas en la industria alimentaria y cosmética. Sin embargo, la búsqueda de alternativas naturales y sostenibles ha impulsado la evaluación del mucílago de linaza como una opción viable. Este estudio tuvo como objetivo desarrollar y optimizar un proceso eficiente de extracción y secado del mucílago de linaza en polvo para mejorar su rendimiento y estabilidad, evaluando su viabilidad como alternativa a las gomas comerciales. Para ello, se analizaron las condiciones óptimas de extracción, así como el impacto de distintos métodos de secado en su funcionalidad. Así, el mucílago de linaza se extrajo a través de tres métodos: 1) extracción: decantación o filtrado con un filtro de malla 500 o tela muselina; secado: en una bandeja con papel encerado; resultado: rendimiento: 0 %. 2) extracción: decantación o filtrado con un filtro de malla 600 o tela muselina; secado: en una bandeja con papel encerado, horno con aire caliente de recirculación a 50 °C y 18 h; resultado: rendimiento: 2 %. Y 3) extracción: decantación o filtrado con un filtro de malla 600 o tela muselina; secado: distribución en balones de 500 ml, congelación a -20 °C y 12 h; liofilización: -60 °C, 90 Pa

durante 50 h (liofilizador al vacío BIOBASE); rendimiento: 10.4%. Los resultados indicaron que la temperatura y el tiempo de extracción afectan significativamente el rendimiento del mucílago. Por ello, el método 3 es más efectivo con rendimiento del 10.4%. Además, la viscosidad, a temperatura ambiente, de goma xantana y mucílago de linaza es 14 636 mPa·s y 7138.3 mPa·s, respectivamente. Se concluye, entonces, que el mucílago de linaza es una alternativa a espesantes comerciales con potencial uso en la industria alimenticia. La optimización del proceso de extracción y secado permite mejorar la eficiencia de recuperación y preservar sus propiedades funcionales.

*Palabras clave:* goma xantana, espesantes naturales, hidratación, extracción, secado.

---

## Protein Production from Insects for Human Consumption: A Systematic Review of the State of the Art

*Alison J. Grijalba-Ramírez, Diana C. Becerra-Castro,  
Edna M. Gamboa-Delgado, Carlos J. Muvdi-Nova*

Universidad Industrial de Santander  
alison2175544@correo.uis.edu.co, diana2175542@correo.uis.edu.co,  
emgamboa@uis.edu.co, cjmuvi@uis.edu.co

### Resumen

Eating insects, known as entomophagy, represents an alternative food nutritional source of current interest. In Colombia, interest and scientific research in insect protein production is on the rise, as it is perceived as a sustainable and viable alternative. In addition, the country's tropical climate provides optimal conditions for the breeding of a wide range of edible insect species, both new and native. This study has significant potential to guide future research within our research group, particularly addressing challenges related

to nutritional quality, scalability, and consumer acceptance, with interdisciplinary collaboration and the development of sustainability solutions for the food industry. *Objective:* To conduct a systematic review of the state of the art on protein production from insects for human consumption, highlighting trends, research areas, and opportunities in production processes and nutritional evaluation. *Results and Discussion:* The systematic review followed the PRISMA methodology, identifying 22 443 documents. After filtering by title, abstract, and content, 101 studies were selected. These focused on insect protein production, farming, nutritional quality, food safety, sustainability, and consumer perception and acceptance, showcasing the growing research interest in insect-based protein for human consumption. The review highlighted the house cricket (*Acheta domestica*) as the most studied insect, followed by the mealworm (*Tenebrio molitor*). These species accounted for 20% of the studies on insect protein production and transformation. Their prominence reflects the growing focus on sustainable, nutrient-rich protein sources. Research focused heavily on consumer perception, representing 31% of the studies. This highlights the importance of understanding attitudes toward insect-based foods to drive acceptance. Production and transformation were explored in 20% of articles, reflecting interest in efficient methods for processing insects as food. Food safety, accounting for 19%, emphasized contamination control and ensuring products are pathogen-free. Nutritional quality (13%) assessed the protein, fat, carbohydrate, vitamin, and mineral content of insects as sustainable food sources. Sustainability (12%) examined eco-friendly practices, while farming (5%) addressed rearing techniques to enhance efficiency, reduce waste, and ensure high-quality materials. *Conclusion:* Insects are a promising protein source due to their environmental benefits and nutritional value. This systematic review highlights increased research and publications, especially from 2021 to 2023, reflecting growing global interest. Advancing this field

is essential for enhancing food security, sustainability, and the integration of insect-based proteins into mainstream diets.

*Palabras clave:* insects, protein production, human consumption, state-of-the-art.

## Desarrollo de galletas a partir de harina de ñame espino variedad alemán modificado químicamente

<sup>1</sup>Clemente Granados Conde, <sup>1</sup>Glicerio León

Méndez, <sup>2</sup>Víctor Manuel Gélvez Ordóñez

<sup>1</sup>Universidad de Cartagena, <sup>2</sup>Universidad de Pamplona  
cgranadosc@unicartagena.edu.co, gleonml@unicartagena.edu.co,  
vmgelvez@gmail.com

### Resumen

Se desarrolló una galleta a partir de harina de ñame espino (variedad alemán) modificada químicamente con anhídrido acético y anhídrido dodecenil succínico en concentraciones de 10 y 15 mL. La especie vegetal fue recolectada en el municipio de San Jacinto (Bolívar, Colombia). La modificación de la harina se caracterizó mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier, que identificó grupos funcionales característicos de la modificación química. Los resultados evidenciaron cambios estructurales prometedores en la harina, lo que sugiere mejoras en sus propiedades funcionales para su aplicación en productos horneados. La galleta desarrollada presentó características sensoriales y estructurales favorables, lo que indica el potencial de esta harina modificada para

formular nuevos productos alimenticios. Este estudio contribuye al aprovechamiento del ñame espinoso y al desarrollo de ingredientes con valor agregado en la industria de alimentos.

*Palabras clave:* galletas, harina modificada, anhídridos orgánicos.

## Estabilidad de la mora en polvo biofortificada con probióticos durante el almacenamiento a 5 °C

<sup>1</sup>Zaira Tatiana Marín Arango, <sup>2</sup>Misael Cortés Rodríguez, <sup>1</sup>Lina Marcela Agudelo Laverde

<sup>1</sup>Universidad del Quindío, <sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia  
ztmarin@uniquindio.edu.co, mcortesro@unal.edu.co,  
lmagudelo@uniquindio.edu.co

### Resumen

La mora de castilla es una fruta estudiada por su alto valor nutricional asociado al contenido de fenoles, que la hacen muy atractiva debido a su capacidad antioxidante. El objetivo de esta investigación fue sintetizar un alimento en polvo con características probióticas, estable durante el almacenamiento, a partir de un secador por aspersión de disco atomizador, cuyas condiciones fueron: 121.1 °C de temperatura de entrada de aire, 71.6 °C de temperatura de salida de aire y 24 000 rpm como velocidad del disco atomizador. Al polvo se le evaluó la viabilidad del probiótico, propiedades funcionales y de calidad, durante el almacenamiento a 5 °C empacado en condiciones atmosféricas. El microorganismo se mantuvo viable según normatividad vigente (10<sup>6</sup> UFC/g) durante 150 días y se obtuvieron recuentos de 8.6 × 10<sup>6</sup> UFC/g. Entre tanto, las propiedades funcionales presentaron los siguientes valores para antocianinas: 115.9 ± 4.8 mg de eq. cyd-3 glu/100g polvo bh; fenoles totales: 2553.1 ± 80.8 mg AG/100g polvo bh; ABTS: 1846.3 ± 67.2 mg trolox/100g polvo bh; DPPH:

3550.3 ± 11.9 mg trolox/100g polvo bh. Las propiedades de calidad fueron: solubilidad: 97.7 ± 1.2 %; cromaticidad a\*: 25.3 ± 0.5, b\*: 4.5 ± 0.2, L\*: 51.3 ± 0.3, D10: 20.6 ± 0.2 μm, D50: 872 ± 6.8 μm, D90: 2390 ± 4.7 μm, aw: 0.303 ± 0.003 y Xw: 10.6 ± 0.3 %. Se determinó la vida útil del polvo por el contenido de probióticos, alcanzando una viabilidad de 5 meses; así mismo, se puede indicar que el polvo es estable, fluido y con un alto contenido de antioxidantes, que lo hacen un alimento funcional y que aporta a la nutrición de los consumidores.

*Palabras clave:* *Rubus glaucus* Benth, probióticos, prebióticos, antioxidantes, microencapsulación, propiedades fisicoquímicas.

---

## Biosíntesis de lípidos estructurados con ácidos grasos de cadena media en un aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*)

*Sara Andrea Rincón Barrera, Julián Paul Martínez Galán,  
Óscar Julio Medina Vargas, Henry Alonso Colorado Lopera*

Universidad de Antioquía  
sara.rincon@udea.edu.co

### Resumen

En Colombia, el exceso de peso (conformado por sobrepeso y obesidad) ha generado preocupación en el área de la salud, debido a las altas cifras que se vienen dando en los últimos años, pues se ha reportado que en el país el 56.4 % de la población padece de sobrepeso, por lo que se ha convertido en un problema de salud pública. Adicionalmente, el riesgo de contraer este tipo de enfermedades aumenta por una alimentación poco saludable (esto es, consumo elevado de sal, azúcares, grasas y un bajo consumo de frutas y verduras); asimismo, está asociado con comportamientos sedentarios. De

acuerdo con lo anterior, el propósito de esta investigación fue generar un producto alimentario para prevenir la obesidad y otras enfermedades crónicas no transmisibles, por lo cual se ha planteado como una alternativa los lípidos estructurados (SL), que son triglicéridos de bajas calorías. Estos se obtienen modificando el triacilglicerol de lípidos naturales a través de la reestructuración de los ácidos grasos (AG), que así alteran el tipo, contenido, estructura o distribución de los AG unidos a la cadena principal de glicerol, con un fin en particular. Dentro de los SL están los de tipo MLM, lípidos modificados vía enzimática utilizando lipasas 1,3 regioselectivas que pueden ser inmovilizadas covalentemente, a fin de estructurar AG de cadena media (M), en las posiciones sn-1 y sn-3, y de cadena larga (L), en la posición interna sn-2. En este sentido, se propone el uso de un material híbrido de ácido poliláctico (PLA) y celulosa como soporte inmovilizador. El PLA es un biopolímero utilizado como material inmovilizador de enzimas, debido a que preserva su estructura tridimensional y actividad catalítica. Sus propiedades, como la alta resistencia y termoplasticidad, lo hacen un material compatible con la impresión 3D. Para esta metodología se ensayó con una impresión 3D con un 5 % de celulosa y se encontró una inmovilización enzimática hasta el 48 %, donde se mantiene hasta por 9 ciclos su actividad relativa con un mínimo del 50 %. Esta enzima inmovilizada permite la incorporación de ácido caprílico (C8:0) por biosíntesis en las posiciones sn-1 y sn-3 en aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) obteniendo así los SL. El perfil de AG se utilizó para calcular los principales índices de lípidos saludables del aceite de sacha inchi y los AG para evaluar si las propiedades serían beneficiosas en los lípidos estructurados.

*Palabras clave:* lípidos estructurados, impresión 3D, enzima, inmovilización, obesidad

---

## Evaluación del efecto prebiótico de xilooligosacáridos obtenidos de un subproducto de eucalipto en un modelo *in vitro* e *in vivo*

Lizeth Andrea Arce Ramos, Cecilia Otaviano, Julián

Paul Martínez Galán, Fernando Masarín

Universidad de Antioquía  
lizeth.arce@udea.edu.co

### Resumen

los xilooligosacáridos (XOS) son una clase de oligosacáridos derivados del xilano. Están compuestos por varias unidades de xilosa y varían según su grado de polimerización. Se encuentran principalmente en plantas y se han sintetizado a partir de diferentes fuentes de residuos de biomasa, como la mazorca de maíz, el trigo, la cebada, la caña de azúcar y el eucalipto, entre otros, mediante procesos de hidrólisis que permiten la descomposición del polisacárido principal. Los XOS son oligosacáridos no digestibles de estructura fibrosa que logran resistir el ataque de las enzimas gástricas y los pH ácidos de los jugos gástricos, pasando fácilmente por el tracto gastrointestinal superior sin ser digeridos, hasta llegar al intestino inferior y ser metabolizados por la microbiota intestinal. Ello favorece la proliferación y colonización de bacterias probióticas que, a su vez, producen sustancias posbióticas, esto es, sustancias bioactivas que provienen de microorganismos inactivos o de sus productos metabólicos que le confieren diferentes propiedades terapéuticas, como anticancerígenos, antiinflamatorios, antioxidantes, antiproliferativos y antibacterianos. Adicionalmente, los XOS ya se han evaluado por su potencial prebiótico en modelos *in vitro* e *in vivo*, donde se ha encontrado que en concentraciones por debajo del 10 % de la fibra hay un efecto que favorece el crecimiento y la modulación de la microbiota intestinal en cepas de *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*; sin embargo, actualmente no

hay estudios reportados que evalúen dicho efecto en fibras provenientes del eucalipto. Este es el carácter diferenciador de la investigación, que pretende evaluar las propiedades prebióticas *in vitro* e *in vivo* de los XOS obtenidos en colaboración con la Universidad Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), donde los resultados preliminares del modelo *in vitro* han mostrado, hasta ahora, que la fibra XOS tras 72 h favoreció el crecimiento bacteriano de la cepa *Lactobacillus acidophilus* de forma comparable con el control positivo. Posteriormente, se realizarán algunos estudios más específicos que complementen el modelo *in vitro*, para dar paso al modelo animal que ya cuenta con el aval del comité de ética de la Universidad de Antioquia.

*Palabras clave:* XOS, fibra prebiótica, efecto prebiótico, microbiota, probióticos, posbióticos.

## Aplicación de oleoresina de jengibre obtenida por fluidos supercríticos en chocolate al 70 % cacao criollo fino de aroma

<sup>1</sup>Fiorella Patricia Cárdenas Toro, <sup>1</sup>Jennifer Hypatia Meza Coquirá,  
<sup>2</sup>Llissella Torrejón-Valqui, <sup>2</sup>Efraín Manuelito Castro Alayo

<sup>1</sup>Pontificia Universidad Católica del Perú, <sup>2</sup>Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas  
fcardenas@pucp.pe, jhmeza@pucp.edu.pe, llisela.torregon@untrm.edu.pe,  
efrain.castro@untrm.edu.pe

### Resumen

En el Perú la producción de chocolate a partir de cacao criollo peruano fino de aroma ha suscitado un gran interés, debido a sus distintivas características sensoriales de sabor y aroma, resultando en una amplia aceptación en el mercado nacional e internacional. Como resultado, recientes investigaciones se

han centrado en el estudio de la obtención del chocolate a partir del cacao criollo con la incorporación de aditivos capaces de mejorar sus propiedades bioactivas, y así permitir nuevos productos de valor agregado para la industria del chocolate. Se han desarrollado estudios de la incorporación de ingredientes funcionales diferentes a los que actualmente se utilizan en la fabricación de chocolate, como extractos de frutas exóticas, cáscaras liofilizadas de bayas y aceites vegetales; sin embargo, la incorporación de nuevos ingredientes puede ocasionar la variación de los parámetros de calidad del chocolate, como las temperaturas de fusión y cristalización, la textura, la reología, la estabilidad oxidativa, entre otros. En investigaciones anteriores de nuestro grupo, se obtuvo oleorresina de jengibre utilizando tecnología por fluidos supercríticos con valores altos de contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante en la oleorresina, que puede emplearse como aditivo valioso para la industria alimentaria. Dado lo anterior, se estudió la aplicación de la oleorresina de jengibre obtenida por extracción por fluidos supercríticos a 50 °C y 250 bar como aditivo innovador en la producción de chocolates oscuros con 70 % cacao fino de aroma, procedente de la región del Amazonas del Perú; además, se verificaron sus propiedades de calidad. Para ello, se mezcló pasta de cacao criollo derretida con manteca de cacao, azúcar y la oleorresina de jengibre en 3 diferentes porcentajes de 0.026 %, 0.078 % y 0.129 %. También se elaboró una mezcla para el chocolate control sin oleorresina de jengibre. Se analizaron las propiedades fisicoquímicas del chocolate de viscosidad, textura, temperatura de fusión, entalpía de fusión, temperatura de cristalización, entalpía de cristalización, color, índice de blancura y estabilidad oxidativa; así como las propiedades bioactivas de contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante por DPPH y ABTS, aparte del análisis sensorial. Los resultados indicaron que la adición de oleorresina de jengibre al 0.026 % obtuvo los valores más altos de aceptabilidad general de  $5.80 \pm 1.80$  en comparación con las otras fórmulas. Adicionalmente, las

propiedades de viscosidad de  $1.48 \pm 0.04$  Pa·s, temperatura de fusión de  $32.56 \pm 0.35$  °C e índice de estabilidad oxidativa de  $0.11 \pm 0.01$  h fueron mejores respecto al chocolate control.

*Palabras clave:* oleoresina de jengibre, chocolate, cacao criollo, propiedades de chocolate.

## Aplicación de redes neuronales para el modelamiento y predicción de propiedades tecnofuncionales de ingredientes naturales obtenidos a partir del mango

*Fernel Thomas Guzmán, Luis Mieles Gómez, David Ramírez Brewer, Luis García Zapateiro, Somaris Quintana Martínez*

Universidad de Cartagena

fthomasg@unicartagena.edu.co, lmielesg@unicartagena.edu.co,  
dramirezbl@unicartagena.edu.co, lgarciaz@unicartagena.edu.co,  
squintanam@unicartagena.edu.co

### Resumen

Los desechos de la industria del mango representan una biomasa con un alto potencial, pero no se ha explotado de manera eficiente. A partir de estos residuos, es posible obtener una variedad de ingredientes con aplicaciones importantes en la industria alimentaria. En este contexto, la mejora de los procesos de valorización de estos residuos requiere herramientas que permitan modelar su comportamiento de manera precisa. Debido a la complejidad y la no linealidad de las variables involucradas, las redes neuronales artificiales (RNA) han surgido como una alternativa eficaz para analizar y predecir estos procesos, al facilitar la implementación de estrategias más eficientes para su aprovechamiento. Por ello, el objetivo de esta investigación fue modelar y predecir las propiedades tecnofuncionales de nuevos ingredientes obtenidos a partir de subproductos del mango utilizando las RNA, y de este modo evaluar su potencial aplicación en la industria alimentaria.

Así, se obtuvieron extractos naturales a partir de la cáscara y la semilla del mango variedad hilaza con el método Soxhlet utilizando hexano como solvente, logrando un rendimiento de extracción de entre el 0.14 % y el 3.62 % y un contenido de compuestos fenólicos totales en el rango de 28.17 y 50.11 mg GAE/g extracto. A partir de la semilla del mango de la variedad corazón se obtuvieron almidones extrayendo sólido-líquido y empleando bisulfito de sodio como solvente, con un rendimiento de  $44.05 \% \pm 2.05 \%$ . El almidón presentó una capacidad de retención de agua del  $83.48 \% \pm 5.41 \%$  y una temperatura de gelatinización de  $81.11 \text{ }^\circ\text{C}$ . Asimismo, a partir de la cáscara del mango hilaza, se extrajo pectina usando ácido ascórbico con un rendimiento de extracción de entre un 25 % y un 42 %. Las RNA se utilizaron para modelar y predecir las propiedades tecnofuncionales de los ingredientes obtenidos de los subproductos del mango. Se usó una red neuronal de propagación hacia adelante con retro-propagación, y como función de entrenamiento, el algoritmo de Levenberg-Marquadt. Las funciones tangentes hiperbólica sigmoidea y linear se emplearon como funciones de transferencia. Los resultados muestran un coeficiente de correlación  $r > 0.99$  y un coeficiente de determinación  $R^2 > 0.99$ . Estos resultados comprueban que es posible modelar y predecir las propiedades tecnofuncionales de nuevos ingredientes a partir de los subproductos del mango mediante procesos de extracción adecuados y técnicas avanzadas de aprendizaje como las RNA. La obtención de extractos, almidón y pectina demuestra que estos residuos pueden ser valorizados para su aplicación en la industria alimentaria, no solo como una estrategia para reducir el desperdicio agroindustrial, sino como una alternativa para el desarrollo de ingredientes con propiedades funcionales y tecnológicas.

*Palabras clave:* redes neuronales artificiales, modelamiento, subproductos, ingredientes naturales, mango.

---

## Evaluación de modelos reológicos en las propiedades de flujo viscoso de un helado a base de yuca (*Manihot esculenta*)

*Yorwin Blanco Hernández, Fernel Thomas Guzmán,  
Luis García Zapateiro, Somaris Quintana Martínez*

Universidad de Cartagena

yblancohl@unicartagena.edu.co, fthomasg@unicartagena.edu.co,

lgarciaz@unicartagena.edu.co, squintanam@unicartagena.edu.co

### Resumen

Las propiedades reológicas son parámetros de interés en la calidad sensorial de los helados, pues afectan su cremosidad, estabilidad y textura. Este trabajo se centra en la determinación de las propiedades de flujo viscoso de un helado a base de yuca (*Manihot esculenta*) y su evaluación mediante el ajuste de diferentes modelos reológicos. Para esto, se caracterizó el estado estacionario con un reómetro de esfuerzo controlado Haake Mars 60 mediante una geometría de cilindro coaxial, en un rango de deformación entre 0.001 y 1000 s<sup>-1</sup>, a 4 °C, durante 20 min. Las curvas de flujo viscoso se ajustaron a los modelos reológicos de la ley de potencia (Ostwald-de-Waele), Cross, Sisko y Carreau-Yasuda. El análisis de los datos se llevó a cabo mediante análisis de varianza, utilizando el *software* estadístico Statgraphics versión 19. Gracias a las curvas de flujo generadas, se evaluó la respuesta del helado a condiciones controladas, que son determinantes en su textura, y se estudió la variabilidad de las propiedades reológicas en función de las condiciones de prueba. Los resultados mostraron qué modelo se ajusta mejor al comportamiento viscoso de este helado, proporcionando una base sólida para mejorar los procesos de fabricación. Este estudio tiene un impacto directo en la mejora de la calidad del helado, porque asegura

que las propiedades reológicas cumplan con las expectativas del consumidor y contribuyan al desarrollo de productos más estables y sensorialmente atractivos.

*Palabras clave:* hidrocoloide, reología, curva de flujo viscoso, helado, modelos reológicos.

---

## Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades fisicoquímicas de la pulpa de ahuyama (*Cucurbita maxima*)

*María Alejandra Zúñiga Navarro, Fernel Thomas Guzmán,  
Luis García Zapateiro, Somaris Quintana Martínez*

Universidad de Cartagena

mzunigan@unicartagena.edu.co, fthomasg@unicartagena.edu.co,

lgarciaz@unicartagena.edu.co, squintanam@unicartagena.edu.co

### Resumen

Dentro del género *Cucurbita*, la ahuyama (*Cucurbita máxima*) constituye una de las especies con más variedades locales, cultivares comestibles y ornamentales. Ha sido popular entre los consumidores de todo el mundo debido a su rico contenido de  $\beta$ -carotenoides, vitaminas (C, E, B6, riboflavina, tiamina y niacina) y minerales (Ca, Fe, Se, K, Mg, P, Cu y Mn). Su uso más común es el consumo de su pulpa madura, que es una de las de mejor calidad dentro del género, por su sabor y riqueza en carotenoides. Además de ser el ingrediente comestible de productos industriales (dulces de calabaza, mermeladas y purés) y de diversas cocinas (pasteles, pan y sopas), la ahuyama es bastante estable después de la cosecha durante uno a tres meses. Sin embargo, tras pelarlas son susceptibles a la pérdida de humedad, el reblandecimiento, cambios de color y el deterioro microbiano. Dado que la elevada humedad aumenta la susceptibilidad de la ahuyama al deterioro, el secado puede ser una técnica adecuada para su procesamiento.

Con base en lo anterior, el objetivo fue evaluar los efectos de la temperatura de secado sobre las propiedades fisicoquímicas de la pulpa de ahuyama. Para esto se realizaron ensayos de secado convectivo a diferentes temperaturas que oscilaban entre 30, 50 y 70 °C durante 8 h. Las muestras obtenidas se caracterizaron fisicoquímicamente, evaluando pH, acidez, sólidos solubles, compuestos fenólicos totales, carotenoides totales, flavonoides totales y capacidad antioxidante mediante los ensayos ABTS y DPPH. Los resultados demuestran el potencial uso de la pulpa de ahuyama para el desarrollo de productos alimentarios.

*Palabras clave:* ahuyama, pulpa, secado, fisicoquímico, harina.

## Estudio de la goma de mezquite en la formación y estabilidad de espumas líquidas

*Martín R. Porras Godínez, Jesús Gracia F., Guadalupe Franco R.*

Universidad Nacional Autónoma de México  
porrasgdz@gmail.com, contacmart@hotmail.com,  
guadalupana\_2@yahoo.com.mx

### Resumen

Una espuma representa una dispersión de alto volumen de gas dentro de un líquido o un sólido. Es importante comprender el efecto de la formulación y estabilidad de las espumas. El objetivo de este estudio fue evaluar el empleo de goma de mezquite (*Prosopis* spp.) en la formación y estabilidad de espumas líquidas y relacionarlo con la formulación. Para estudiar la estabilidad de espumas obtenidas a partir de goma de mezquite se empleó el método propuesto por Ross-Miles con una temperatura de 25 °C a diferentes concentraciones y tiempos de evacuación de 0, 3 y 6 horas de almacenamiento, presentando una altura máxima de 9 cm. Los resultados sugieren el

empleo de la goma de mezquite como un material adecuado para la obtención de espumas líquidas estables y puede ser aplicado en tecnologías como la cosmética, la ingeniería de alimentos y la industria farmacéutica.

*Palabras clave:* goma de mezquite, estabilidad, espuma líquida.

---

## Simulador gástrico distal para el análisis de desintegración química de alimentos sólidos

*Gabriel Ascanio, Itzel Martínez Camacho, Luis*

*Fernando Donis Rabanales, Alberto Caballero Ruiz*

Universidad Nacional Autónoma de México

gabriel.ascanio@icat.unam.mx, itzelcam1997@gmail.com,

l.fer.donis@gmail.com, alberto.caballero@icat.unam.mx

### Resumen

El trabajo describe el desarrollo de un simulador gástrico distal *in vitro* que permite llevar a cabo el análisis de la desintegración química de alimentos y productos nutricionales, así como el análisis de disolución de fármacos en condiciones muy similares a las encontradas en el proceso gástrico humano en la región distal. El simulador gástrico distal *in vitro* consta de membranas blandas que simulan las paredes gástricas, las cuales se fabricaron mediante manufactura aditiva, que permiten generar el movimiento de manera cercana al comportamiento fisiológico humano. Con el fin de demostrar cómo el modelo promueve la acidificación del contenido gástrico con ácido clorhídrico, se realizaron experimentos de tránsito rápido con leche. Para ello, se añadió ácido al estómago a una velocidad constante y se consideró el vaciado siguiendo la metodología descrita en otros estudios. Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas de desintegración química de alimentos sólido (por ejemplo, melón y salchicha con diferentes consistencias). Para ello, se

suministraron los alimentos cortando en pequeños trozos o machacando los alimentos. Los resultados se compararon con métodos tradicionales de caracterización como los son los dispositivos estáticos, que constan simplemente de un tanque agitado, al cual se le agregan ácido clorhídrico y agua. Por otro lado, a fin de evaluar la capacidad de disolución de fármacos en el simulador gástrico, se empleó prednisona como estándar de verificación aprobado farmacopea de Estados Unidos (USP). Los resultados se compararon con uno de los dispositivos aprobados por la USP. Los resultados obtenidos permitieron llevar a cabo el análisis de disolución en condiciones mucho más reales y cercanas al proceso humano en comparación con el dispositivo propuesto por la USP.

*Palabras clave:* peristalsis, simulador gástrico, desintegración química.

## Caracterización nutrimental y evaluación de la actividad antioxidante en un totopo de maíz tradicional de México: implicaciones para la ingeniería de alimentos funcionales

*María José Zárate Victoria, Paola Cristina Zárate Cruz,  
Andrea Selene López Díaz, Irene Chaparro Hernández,  
Juan Rodríguez Ramírez, Lilia Leticia Méndez Lagunas*

Instituto Politécnico Nacional  
mzaratev2500@alumno.ipn.mx, pzaratec2400@alumno.ipn.mx, alopezd@ipn.mx, irene.chaparroh@gmail.com

### Resumen

La creciente demanda de alimentos funcionales ha incentivado el estudio de productos tradicionales con potencial nutracéutico. En este contexto, los totopos, elaborados a partir de maíznixtamalizado en comunidades del sur de México, representan una alternativa culturalmente significativa y nutricionalmente

prometedora; sin embargo, escasos estudios científicos respaldan sus propiedades funcionales. Este trabajo tiene como objetivo caracterizar el perfil nutrimental y evaluar la actividad antioxidante de un totopo tradicional de maíz, con miras a su incorporación en el desarrollo de alimentos funcionales. Se realizaron análisis proximales conforme a métodos oficiales (AOAC) para determinar contenido de humedad, cenizas, proteína, grasa, fibra, azúcares totales, pH y valor calórico. Los resultados mostraron una composición de humedad ( $4.4 \pm 0.2\%$ ), proteína ( $11.2 \pm 0.4\%$ ) y fibra ( $2.6 \pm 0.4\%$ ), con ausencia total de grasa ( $0.0 \pm 0.0\%$ ) y un contenido calórico bajo (95 kcal/100 g). Estos valores evidencian un perfil bajo en calorías y grasas, con un aporte moderado de proteínas y fibra dietética. Asimismo, se cuantificaron compuestos bioactivos mediante técnicas colorimétricas estandarizadas. Se registró un contenido fenólico total de  $58.51 \pm 0.14$  mg AGE/g ms, flavonoides totales de  $36.14 \pm 0.56$  mg QE/g ms y carotenoides de  $5.30 \pm 0.17$  mg  $\beta$ -caroteno E/g ms. La actividad antioxidante determinada fue de  $20.88 \pm 3.09\%$  de inhibición, lo que indica un potencial efecto protector contra el estrés oxidativo. Estos resultados sugieren que el totopo tradicional, además de ser un alimento de bajo costo y alta aceptación cultural, presenta propiedades que podrían ser aprovechadas en la formulación de productos funcionales o como ingrediente en mezclas enriquecidas. La caracterización realizada sienta las bases para su valorización dentro del campo de la ingeniería de alimentos, promoviendo la integración de conocimientos tradicionales con soluciones innovadoras y sostenibles.

*Palabras clave:* totopo, maíz nixtamalizado, actividad antioxidante, alimentos funcionales, compuestos fenólicos.

---

## Energía renovable y no renovable

El sistema energético mundial sigue dominado por los combustibles fósiles, que en 2024 representaron cerca del 86 % del suministro total de energía; aun así, las renovables ya generan un tercio de la electricidad global y crecen con rapidez. La matriz eléctrica colombiana es hidrodominante (dos tercios de la generación anual), con respaldo térmico (gas/carbón) y una participación renovable no convencional.

En este contexto, Colombia avanza hacia un portafolio energético más diverso y resiliente. El equilibrio renovable y no renovable exige decisiones de ingeniería, mercado y política pública que aseguren seguridad, asequibilidad y descarbonización. Además de trazar escenarios de demanda-oferta y prioridades de transmisión, flexibilidad y eficiencia, la hoja de ruta del hidrógeno define metas y habilitadores para hidrógeno de bajas emisiones y sus derivados (amoníaco o metanol). A continuación se presentan los trabajos en materia energética.

## Valorización de residuos agroindustriales mediante pretratamientos químicos para la producción sostenible de bioetanol

*Ada Patricia Barturen Quispe, Priscila Cueva Sánchez,  
Mario B. Gil Mendoza, Carmen Carreño Farfán, Marilín  
Sánchez Purihuamán, Segundo Alberto Vásquez Llanos*

Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo  
abarturen@unprg.edu.pe, rcuevasanchez@unprg.edu.pe,  
mgilm@unprg.edu.pe, ccarreno@unprg.edu.pe, msanchezpu@unprg.edu.pe,  
svasquezll@unprg.edu.pe

### Resumen

La dependencia de los combustibles fósiles y la contaminación ambiental asociada subrayan la necesidad de explorar energías renovables, como el bioetanol de segunda generación, y de aprovechar los residuos agroindustriales problemáticos que no se gestionan adecuadamente (por ejemplo, el bagazo de caña de azúcar, las cáscaras de café y las cáscaras de arroz), pero que son fuentes abundantes y económicas de lignocelulosa y cuyo aprovechamiento reduciría su impacto ambiental y contribuiría a la producción sostenible de bioetanol. Varios estudios han investigado métodos de pretratamiento para la hidrólisis de la cáscara de arroz, como el peróxido alcalino, el peróxido ácido y el peróxido de silicato, variando las concentraciones de agentes químicos y peróxido de hidrógeno. De manera similar, la hidrólisis con ácido sulfúrico diluido (1 %-5 %) logró una conversión máxima de azúcares totales del 90 %, con rendimientos óptimos de etanol logrados con tiempos de hidrólisis de 5 h y fermentación de 24 h. Sin embargo, las comparaciones entre el pretratamiento alcalino y con peróxido alcalino en diferentes biomásas lignocelulósicas son escasas; por lo tanto, se investigan estos métodos de pretratamiento con el bagazo de caña de azúcar y las cáscaras de arroz y de café, teniendo en cuenta que el tratamiento con peróxido alcalino combinado con hidrólisis ácida para

optimizar la producción de bioetanol aún es poco explorado en condiciones operacionales (15 % w/v, pH de 11.5, 35 °C y 24 h). Los objetivos fueron evaluar el efecto de diferentes pretratamientos químicos y optimizar las condiciones de fermentación para maximizar la producción de bioetanol a partir de desechos agroindustriales lignocelulósicos. A partir de ello, se eligió el pretratamiento con peróxido alcalino, debido a su mayor eficiencia en la liberación de azúcares totales. Posteriormente, el residuo pretratado se sometió a hidrólisis ácida diluida y fermentación optimizada mediante un diseño factorial  $3 \times 3$  evaluando temperaturas de 30 °C, 35 °C y 40 °C, y pH de 4, 5 y 7 con *Saccharomyces cerevisiae* al 5 % v/v. Las condiciones óptimas de fermentación fueron 35 °C y pH 4. El rendimiento de producción de bioetanol varió según el residuo: 24.20 g/L (bagazo de caña de azúcar), 17.23 g/L (cáscara de café) y 6.84 g/L (cáscara de arroz). Este estudio demuestra que el bagazo de caña de azúcar y la cáscara de café son biomateriales altamente eficientes para la producción de bioetanol en condiciones óptimas de pretratamiento y fermentación. Los hallazgos contribuyen al uso sostenible de los residuos agroindustriales y al desarrollo de tecnologías de energía renovable accesibles.

*Palabras clave:* bioetanol, residuos agroindustriales, fermentación, biomateriales, pretratamientos químicos.

---

<sup>1</sup>Federico López Munos, <sup>1</sup>Alejandra Hernández,  
<sup>2</sup>Viktor Cárdenas, <sup>1</sup>Jeffrey León-Pulido

<sup>1</sup>Universidad Ean, <sup>2</sup>Universidade Federal de São Paulo  
flopezm76126@universidadean.edu.co,  
ahernan23212@universidadean.edu.co, viktor.cardenas@unifesp.br,  
jleonp@universidadean.edu.co

## Resumen

Green hydrogen has become a key component due to its multiple uses, including energy storage, transportation, electricity generation, industrial processes, and residential heating, standing out for its ability to reduce carbon emissions. Global efforts reflect significant investments: Germany plans to produce 5 million tons of green hydrogen by 2030 with a €9 billion investment, while Chile seeks to position itself as a key exporter in Latin America. Currently, 96% of hydrogen production relies on fossil fuels, emitting approximately 9 kg of CO<sub>2</sub> per kilogram produced. In contrast, green hydrogen, generated through renewable-powered electrolysis, represents only 4% of global production. For the systematic review, the PRISMA methodology was applied, analyzing articles published in Scopus between 2020 and 2025. These articles highlight advanced methods such as methane pyrolysis and electrolysis, achieving efficiencies of up to 90% with costs ranging from \$1.03 to \$7.00 per kilogram. Emerging processes, such as photoelectrolysis and bio-photolysis, also enhance sustainability, achieving solar-to-hydrogen conversion efficiencies of up to 15%. Although the high energy and water requirements pose challenges, interdisciplinary innovation and the development of new technologies are driving significant improvements.

*Palabras clave:* green hydrogen, green process, green chemistry, electrolysis.

---

## Etanólisis supercrítica de aceite vegetal para la formación de mezclas homogéneas de biocombustible

*Víctor Marulanda, Lizeth Molina*

Universidad del Valle  
victor.marulanda@correounivalle.edu.co,  
lizeth.molina@correounivalle.edu.co

### Resumen

La etanólisis supercrítica se ha planteado como una alternativa para producir mezclas biocombustibles de ésteres de etilo e hidrocarburos generados en reacciones de descomposición térmica de ésteres de etilo insaturados ya que, a diferencia del proceso convencional de transesterificación, la etanólisis supercrítica no requiere un catalizador básico y evita el uso de metanol en la reacción, lo cual lleva, a la vez, a un biocombustible enteramente renovable con menos residuos. Al mismo tiempo, a las condiciones a las que se lleva a cabo el proceso el glicerol formado como subproducto de la reacción de transesterificación, sufre reacciones de eterificación con el alcohol, formando éteres de glicerol y agua. La mezcla homogénea resultante, formada por ésteres de etilo, etanol, éteres de glicerol y agua, podría usarse directamente como mezcla combustible e incluso mejorar algunas propiedades relacionadas con las emisiones contaminantes formadas en la combustión de mezclas formadas solo por biodiésel y etanol. En esta investigación se estudió la etanólisis supercrítica de aceite vegetal refinado y etanol acuoso en un reactor Batch, a temperaturas en el rango 400 a 480 °C y relación molar etanol a aceite de 12:1, para evaluar el efecto de la temperatura y el tiempo de residencia en la formación de una fase homogénea, apariencia del efluente e incremento del contenido de agua resultado de las reacciones de descomposición térmica. Los resultados mostraron que se produjo agua a temperaturas mayores a 400 °C, atribuida a la eterificación del glicerol, y

que tiempos de residencia prolongados resultaron en formación de gas y hollín, indicativo de reacciones de descomposición de ésteres y pérdida de productividad de la mezcla obtenida. A través de balances de masa, fue posible identificar el conjunto de condiciones de operación a las cuales el agua formada por la eterificación del glicerol coincide con el valor máximo esperado, de acuerdo con el esquema de reacción propuesto en que todo el glicerol formado como subproducto es eterificado; mientras que se minimiza la formación de gas y hollín observada a temperaturas superiores a 440 °C.

*Palabras clave:* biodiésel de un solo recipiente, descomposición térmica del biodiésel, esterificación del glicerol, proceso libre de catalizador

---

## Biogás como oportunidad energética en una zona rural de Santander

*Ana María Mantilla Moreno*

Universidad de Santander  
ana.mantilla@mail.udes.edu.co

### Resumen

El mundo actual enfrenta desafíos frente a los escenarios de transición energética que buscan mitigar el impacto de los combustibles fósiles, por ejemplo, la cocción de alimentos en zonas rurales comprende el uso de leña, capaz de afectar la salud de los usuarios, y el uso de propano, que genera un gasto económico que día a día aumenta. Como solución a la problemática planteada, se desarrolló la aplicación de biodigestores en la zona de amortiguamiento de la serranía de los Yariguíes, distrito regional de manejo integrado. Esta es una oportunidad energética que apoya el Plan Nacional de Sustitución de Leña y otros combustibles ineficientes y altamente contaminantes, en familias de San Vicente y el Carmen

de Chucurí. Así, describir el funcionamiento de la digestión anaerobia con biomasa agropecuaria, por medio de un balance de masa que involucra la producción de metano ( $\text{CH}_4$ ) como componente principal del biogás, junto con la difusión del conocimiento entre los investigadores y la comunidad, permite la apropiación de la bioenergía con una tecnología que otorga oportunidades para el uso de residuos agropecuarios y mitiga las afecciones que en el ámbito antropogénico afectan a los ecosistemas. Con esta estrategia es posible generar energía renovable en Santander e impulsar la implementación de recursos energéticos sostenibles en las zonas rurales.

*Palabras clave:* biogás, digestión anaerobia, bioenergía y difusión social del conocimiento.

---

## Simulación de un intercambiador de calor de fondo de pozo para el aprovechamiento de la energía geotérmica empleando dinámica de fluidos computacional

*Óscar Felipe Vera Arenas, Germán González*

Universidad Industrial de Santander  
oscarfelipeverarenas@gmail.com, germangs@uis.edu.co

### Resumen

La energía geotérmica es una fuente potencial y prometedora de energía renovable que desempeña un papel clave en la transición hacia un futuro más sostenible. A diferencia de las energías eólica y solar, la energía geotérmica está disponible las 24 h del día; sin embargo, su implementación enfrenta desafíos. Los yacimientos geotérmicos se clasifican según su temperatura, y las zonas de alta entalpía comprenden las temperaturas del subsuelo superiores a  $150\text{ }^\circ\text{C}$ ; las zonas de mediana entalpía, entre los  $100\text{ }^\circ\text{C}$  y los  $150\text{ }^\circ\text{C}$ , y las zonas de

baja entalpía, temperaturas menores a los 100 °C, las cuales son las zonas más comunes. Los yacimientos considerados de baja entalpía son zonas del subsuelo que consisten en un sistema de roca caliente formada por capas de roca impermeable que recubren un foco calorífico y del cual se hace uso de un intercambiador de calor de fondo de pozo (DHE, por sus siglas en inglés), para la extracción de la energía; no obstante, dicha energía se pierde hacia los alrededores, a medida que asciende, ya que la temperatura de la superficie varía por cada época del año. Además, el incorrecto dimensionamiento del DHE puede dar lugar a instalaciones ineficientes donde las pérdidas representan el 18 % de la energía útil. En este estudio se simuló los efectos termodinámicos de un DHE para el aprovechamiento de la energía geotérmica usando la herramienta *dinámica de fluidos computacional* (CFD). Para ello, en el simulador se recreó un modelo de un intercambiador de tipo vertical de 50 m de longitud y 150 mm de diámetro, de tipo coaxial (es decir, un tubo dentro de otro tubo con tubería externa de 75 mm e interna de 40 mm), por el cual circulaba agua a flujo constante y a una temperatura de entrada de 30 °C para su refrigeración. Las temperaturas del subsuelo y las temperaturas de salida del fluido se extrajeron de un banco de pruebas experimentales de un artículo, pero posteriormente se validaron con los resultados obtenidos por la simulación. El modelo corresponde a la teoría clásica de la fuente cilíndrica simplificada con el método de elementos finitos, esto es, una vez se calculan los valores de la energía transferida y la temperatura de salida del fluido portador, se procede a calcular una vez más dichos resultados para un diseño paramétrico, que consiste en aumentar en un 10 % y un 20 % los diámetros de la tubería interior y exterior, para conocer las posibles combinaciones que mejoren la captación de la energía. Igualmente, se calcula la velocidad del flujo y se procede a aumentar o disminuir su valor, a fin de encontrar una condición de turbulencia y de transferencia de calor efectiva. Los resultados encontrados proponen una mejora en

más del 5 % del coeficiente operacional del DHE al realizar el estudio de los parámetros del diámetro de las tuberías y de la velocidad del flujo, dando lugar a un dimensionamiento del DHE más conveniente y eficaz.

*Palabras clave:* geotermia, intercambiadores de fondo de pozo, dinámica de fluidos computacional.

---

## Supercapacitores para una transición energética sostenible

*Zulamita Zapata-Benabíthe, Chelsy Carolina Gaviria García, José Valentín Restrepo, Yirani Johana Barrios Garcés, César Nieto Londoño, Érika Arenas Castiblanco*

Universidad Pontificia Bolivariana  
zulamita.zapata@upb.edu.co, chelsy.gaviria@upb.edu.co,  
josev.restrepo@upb.edu.co, yirani.barrios@upb.edu.co,  
cesar.nieto@upb.edu.co, erika.arenas@upb.edu.co

### Resumen

Los supercapacitores son dispositivos para el almacenamiento de energía que tienen la característica de descarga y almacenamiento rápida de energía, lo que permite utilizarlos en aplicaciones con variaciones en las demandas de potencia y proporcionar estabilidad a la red eléctrica. En la transición energética, el uso de fuentes renovables como la energía solar y la eólica requiere sistemas de almacenamiento capaces de respaldar el suministro de energía en los momentos de baja disponibilidad de recurso solar o eólico. Estos sistemas deben contar con la combinación de dispositivos que den rápida respuesta a la demanda y dispositivos con gran capacidad de almacenar energía. En este contexto, los supercapacitores cumplen un papel importante, ya que pueden ser dispositivos de rápida respuesta, en combinación con las baterías, que darían la capacidad de almacenamiento. Sin embargo, un

debate que surge frente a los sistemas de almacenamiento está relacionado con su costo y los materiales para construirlos. Esto ha llevado a desarrollar investigaciones enfocadas en materiales económicos y de origen renovable. En este trabajo se presenta la evaluación eléctrica de supercapacitores tipo *coin*, contruidos con electrodos obtenidos a partir de cuesco de palma, usando como electrolito ácido sulfúrico de 1 M. Así, se evaluaron *stacks* de supercapacitores, de dos y ocho *coins*, configurados en serie y en paralelo. Se midieron variables electroquímicas, como impedancia electroquímica, pruebas de carga y descarga y análisis de ciclaje. La configuración más prometedor fue el arreglo en paralelo con ocho *coins*, que almacenó 42.15 Wh/kg, a una corriente de 0.01 A y una ventana de potencial de 0.75 V.

*Palabras clave:* transición energética, cuesco de palma, supercapacitores, almacenamiento de energía.

---

## Impacto de la normativa ambiental peruana (reducción de contenido azufre) en la complejidad y margen de refinerías peruanas

<sup>1</sup>Jaime Alberto Santillana Soto, <sup>2</sup>Julia Salinas García, <sup>1</sup>Víctor León Choy, <sup>3</sup>Violeta Chavarry

<sup>1</sup>Inspectra S. A., <sup>2</sup>Universidad Nacional de Ingeniería, <sup>3</sup>Universidad de Lima  
jsantillana@inspectra Peru.com, jsalinas@uni.edu.pe,  
vleon@inspectra Peru.com, HChavar@ulima.edu.pe

### Resumen

El *downstream* peruano está desregulado, coexisten empresas estatales (Refinería Talara-Petroperú) y privadas (Repsol Refinería La Pampilla), los precios son libres y se forman a partir de precios de importación de los combustibles (precios de referencia). Las refinerías de Perú obtienen sus márgenes

comerciales a partir de *trading*, refinación y comercialización de hidrocarburos, y una medida relativa de ellos son los *crack spread* (margen de refinación). En el presente trabajo se desarrollan *crack spread* por refinería a partir de sus rendimientos y los precios de referencia publicados por Osinergmin. Se calcula el *crack spread* 3:2:1 internacional (refinería alta conversión Estados Unidos) y, luego, se calcula el *crack spread* específico para cada refinería a medida que su configuración se modifica para adecuarse a la normativa peruana para limitar el contenido de azufre en los combustibles líquidos. Asimismo, se ingresa como parámetro el nivel de inversión de refinería (medido como Índice de Complejidad de Nelson). Este modelo permite sacar conclusiones de la modernización del sistema de refinación del Perú en el periodo 2005-2025 permitiendo analizar las consecuencias de una externalidad, como lo fue la implantación de la normativa OMI 2020. Los resultados expresados son los siguientes: la adecuación a la normativa ambiental peruana e internacional (OMI 2020) obligó a las refinerías a modificar sus tecnologías de refinación (incrementado su complejidad medida como el Índice Complejidad de Nelson) y a modificar su dieta de crudo hasta lograr un margen de refinación (*crack spread*) sostenible.

*Palabras clave:* refinación: economía, complejidad, *crack spread*, OMI 2020.

---

## Producción de hidrógeno a partir de la fibra de las extractoras de aceite de palma en Colombia: un estudio de caso en Sabana de Torres utilizando Aspen Plus

<sup>1</sup>Paola Andrea Acevedo Pabón, <sup>1</sup>Federico López,

<sup>2</sup>Tamy Herrera, <sup>2</sup>Ángel González

<sup>1</sup>Universidad Ean, <sup>2</sup>Universidad de Cartagena  
paacevedo@universidadean.edu.co, felopez@universidadean.edu.co,  
therrerar@unicartagena.edu.co, agonzalezd1@unicartagena.edu.co

### Resumen

La dependencia hacia los combustibles fósiles como principal fuente de energía preocupa por las emisiones de gases de efecto invernadero y el calentamiento global. El aumento en los precios de los combustibles fósiles y los impuestos al carbono han impulsado la búsqueda de fuentes de energía renovables más accesibles y económicas. En Colombia, los residuos agrícolas, como los de la industria de la palma aceitera, se consideran una fuente prometedora de energía renovable. El Gobierno colombiano ha implementado programas para fomentar la generación de energía a partir de biomasa, incluyendo el Programa Nacional de Biocombustibles, incentivos tributarios y proyectos de investigación y desarrollo. La gasificación es una tecnología para convertir la biomasa en gas de síntesis que se puede utilizar en diversas aplicaciones, como motores de combustión interna y turbinas de gas. El rendimiento de la gasificación se ve afectado por factores como las propiedades de la biomasa, el diseño del gasificador y las condiciones de operación, como la temperatura y la relación de equivalencia (ER). Este estudio se centra en la evaluación del rendimiento óptimo y el potencial de generación de energía a partir de la fibra de las extractoras de aceite de palma (FEAP) de la industria de la palma aceitera en Colombia. Se propone el empleo de una gasificación indirecta, donde el calor necesario para la gasificación se obtiene a partir del carbón generado en el

proceso. Seguida a la gasificación, el hidrógeno se purifica mediante una unidad PSA (adsorción por oscilación de presión). El trabajo desarrollado se centró en determinar las condiciones óptimas de operación para maximizar la producción de hidrógeno y la generación de energía a partir de la FEAP. Se construyó un modelo de simulación en Aspen Plus del proceso descrito. Para la simulación se incluyó la caracterización del FEAP producido en Sabana de Torres (Colombia). Se analizó la sensibilidad para evaluar el efecto de la temperatura y la ER en la producción de gas de síntesis, la composición del gas de síntesis y la generación de hidrógeno. Los resultados permitieron determinar la temperatura óptima para la gasificación de FEAP y la ER óptima. En estas condiciones, se maximiza la producción de  $H_2$  y  $CO$ , se minimiza la producción de  $CO_2$  y  $CH_4$ , y se obtiene un alto LHV y una generación de energía eficiente. En conclusión, este estudio demuestra el potencial de la FEAP como una fuente prometedora de energía renovable en Colombia, particularmente para la generación de hidrógeno. El análisis de sensibilidad proporciona información valiosa sobre las condiciones óptimas de operación para maximizar la producción de gas de síntesis y la generación de energía a partir de FEAP. Los resultados de este estudio pueden servir como base para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la gasificación de biomasa para la producción de energía limpia.

*Palabras clave:* hidrógeno, simulación de procesos, fibras extractoras de aceite de palma.

---

## Evaluación reológica de crudos pesados colombianos bajo la influencia de campos eléctricos externos

*Brayan Steven Quitián Espinosa, Ronald Alfonso Mercado Ojeda,  
María Daniela Contreras Mateus, Arlex Chaves Guerrero*

<sup>1</sup>Universidad Industrial de Santander, <sup>2</sup>TU Dresden  
brayan2182467@correo.uis.edu.co, ramerca@uis.edu.co,  
maria.contreras4@correo.uis.edu.co, achavesg@saber.uis.edu.co

### Resumen

Los crudos pesados y livianos (a temperaturas cercanas al punto de aparición de cera-WAT, por sus siglas en inglés) presentan comportamientos reológicos complejos que afectan su producción y transporte, debido a la alta viscosidad y comportamiento viscoelástico, especialmente en condiciones de bajo cizallamiento. Una alternativa explorada para mejorar estas propiedades es la aplicación de campos eléctricos (CE) externos, los cuales influyen en los estados de agregación de sus componentes dispersos, alterando su microestructura y, por ende, su comportamiento de flujo macroscópico. Una revisión de la literatura sobre el tema muestra que los mayores esfuerzos se han enfocado en investigar el efecto del CE sobre la disminución de la viscosidad y de la temperatura de inicio de precipitación de parafinas en crudos livianos; pero también que es escasa la evaluación del comportamiento electrorreológico de crudos pesados, a pesar del potencial tecnológico en los procesos de extracción y transporte. De ahí que esta investigación se haya planteado como objetivo evaluar el efecto de los CE externos en el comportamiento reológico de cinco crudos pesados colombianos, enfocándose en los cambios de viscosidad y de los módulos dinámicos en función de la intensidad del CE y la tasa de cizallamiento. Se utilizó, entonces, un reómetro MCR302 de Anton Paar, dotado de una celda electrorreológica con geometría de platos paralelos que genera un CE eléctrico uniforme perpendicular

a la dirección del flujo. Según los resultados, los cinco crudos pesados evaluados respondieron reológicamente al CE en diferente forma e intensidad. Tres de ellos tendían levemente a la disminución de la viscosidad; mientras que dos, hacia un marcado incremento. Los módulos de pérdida y almacenamiento se vieron afectados e indican que el CE puede reducir el comportamiento viscoelástico de estos crudos. También se evidenció que incrementar la tasa de cizallamiento potencia el efecto de la intensidad del CE sobre la viscosidad.

*Palabras clave:* reología, electrorreología, viscosidad, crudo pesado.

## Producción de aditivos verdes mediante transesterificación supercrítica de aceite de palma y etanol

*María Paula Romero Ramírez, Laura Marcela Pedraza,  
Hamilton Carrillo Meriño, Bernay Cifuentes*

Universidad de La Salle  
maromero40@unisalle.edu.co, lpedraza46@unisalle.edu.co,  
hcarrillo@unisalle.edu.co, bcifuentes@unisalle.edu.co

### Resumen

La producción de aditivos renovables para combustibles líquidos es esencial para garantizar una transición energética integral. Así, el desarrollo de tecnologías emergentes, como la conversión química de aceites vegetales mediante fluidos supercríticos, se presenta como una alternativa prometedora. Este enfoque destaca por no requerir catalizadores, emplear reactivos inocuos y simplificar la separación de fases; sin embargo, el proceso depende de variables como temperatura, presión y la relación etanol/aceite, lo que genera diferentes aditivos según las condiciones operativas. En este estudio se evaluó el potencial de los aditivos químicos obtenidos mediante la transesterificación de aceite de palma con etanol

supercrítico. Para ello, se utilizó un reactor tubular operando en un rango de 400-450 °C y 10.3-17.3 MPa, empleando aceite de palma refinado y etanol al 96 %. Los productos de la reacción se cuantificaron mediante cromatografía acoplada a masas (GC-MS). Se analizó la relación entre las condiciones operativas y la producción de aditivos, así como su posible aplicación utilizando bases de datos especializadas. Se identificaron más de 80 compuestos, destacando el 6-heptenoato de etilo (2.60 %). Este compuesto puede mejorar la temperatura de fluidez y el índice de cetano, además de actuar como oxigenante, contribuyendo a la reducción de emisiones contaminantes. Estos hallazgos subrayan el potencial de esta tecnología para producir aditivos destinados a biocombustibles líquidos. Estos aditivos son de alto valor comercial y necesarios para la transición energética.

*Palabras clave:* aditivos energéticos, fluidos supercríticos, ésteres etílicos, biocombustibles.

---

## Implementation of Green Hydrogen Pilot Plants for Industrial and Residential Applications at the University of Cantabria, Spain

*Victor Manuel Maestre, Gonzalo Moral, Daniel Gorri, Inmaculada Ortiz, Alfredo Ortiz*

Universidad de Cantabria

maestrevm@unican.es, gonzalo.moral@unican.es, daniel.gorri@unican.es, ortizi@unican.es, alfredo.ortizsainz@unican.es

### Resumen

The continuous increase in the penetration of Renewable Energy Sources (RES) in the global energy mix makes it essential to develop sustainable solutions to efficiently store RES surpluses, thus addressing the intermittency associated with

their operation. In this sense, renewable hydrogen constitutes a versatile and robust solution that enables the storage of large amounts of energy and its application in different economic sectors. The potential of this new energy vector has not gone unnoticed by various international organizations, which have set ambitious goals and estimate that it will contribute between 12 and 22% of the global final energy consumption by the year 2050. This has led to an exponential growth in projects and implementations related to the entire hydrogen value chain in the last decade. Under this context, two pilot plants have been designed and implemented to combine renewable energy sources to supply two sectors with different characteristics, the domestic and industrial sectors by the Advanced Separation Process research group of the University of Cantabria, Spain. The first installation aims to supply 100% of the electrical demand for a social housing unit throughout the year and under various weather conditions. This implementation has taken place in a rural environment within the framework of the European project INTERREG SUDOE ENERGY PUSH. On the other hand, the objective of the second pilot plant is the generation of hydrogen to supply a chemical industry in the region dedicated to the manufacture of styrene-butadiene rubber, with the hydrogen generated being involved in the polymerization process. Additionally, the research group develops advanced membrane technologies for the purification of industrial waste streams with high hydrogen content, such as coke oven gas (COG) at 58.5 vol.%, methanol purge gas (MPG) at 60.2 vol.%, and ammonia purge gas (APG) at 63.1 vol.%. The research focuses on the high efficiency of hydrogen separation and recovery using Matrimid®/LaNi<sub>5</sub> mixed matrix membranes from these industrial waste streams.

*Palabras clave:* green hydrogen, pilot plant, renewable energies, H<sub>2</sub> purification, membrane technologies.

## Evaluación de escenarios de factibilidad técnico-financiera para autogeneración en centros de cremación

*Giovanni Morales Medina, Valeria Duarte  
Carvajal, Tellus Krisstal Riveros Fabra*

Universidad Industrial de Santander  
gmorales@uis.edu.co, valeria2192449@correo.uis.edu.co,  
Tellus2192445@correo.uis.edu.co

### Resumen

La electricidad es uno de los recursos fundamentales para la sociedad. En Colombia, el sector eléctrico presentó un crecimiento del 6.02 % en junio de 2023 en comparación con el año anterior, con una matriz energética compuesta principalmente por generación hidroeléctrica (68.3 %) y termoeléctrica (30.7 %). A pesar de que la matriz nacional es considerada limpia en comparación con el promedio mundial, es necesario buscar alternativas sostenibles, amigables con el medio ambiente y que además contribuyan con la meta de descarbonización. Una alternativa innovadora es el aprovechamiento del calor de los gases de combustión de hornos crematorios para generar electricidad. Recientemente, este método se ha implementado en países como Reino Unido, Dinamarca y Suecia, mediante la aplicación de ciclos Rankine. En estas implementaciones se reporta que la cantidad de energía necesaria por cremación es 17 kWh, lo cual genera un desaprovechamiento de 375 kWh/horno/día, energía que puede recuperarse en forma de electricidad. Asimismo, la información sobre las implementaciones en estos países menciona que la energía recuperada puede abastecer instalaciones como escuelas y gimnasios. Además, en Inglaterra, algunos crematorios ya utilizan este calor para climatizar edificios y calentar piscinas públicas. En Colombia, con 90 hornos crematorios en operación, se estima un potencial de recuperación energética de 147.83 GWh/año, equivalente a 46.46 GWh/año de energía eléctrica

útil, suficiente para abastecer 34 689 viviendas anualmente. Con lo anterior, la presente investigación se centró en una evaluación técnico-financiera sobre la viabilidad de aprovechar los gases de combustión en hornos crematorios para su implementación en el contexto colombiano. La metodología involucró la selección de una estructura de horno crematorio estándar y la evaluación de tres métodos de recuperación de calor: el ciclo orgánico de Rankine (ORC), el ciclo de Rankine convencional y la implementación de una turbina eólica con difusor aumentado (DAWT). La parte financiera incluyó el precio de la electricidad en sectores comerciales, los costos de inversión directos e indirectos, los costos de operación fijos y variables, así como la consideración de posibles incentivos de ley por aprovechamiento energético y bonos de carbono. Según los resultados, respaldados por simulación en Aspen Plus, el ciclo orgánico de Rankine requiere dos intercambiadores de calor para un punto Pinch de 30 °F, una bomba y una turbina con generador integrado. El potencial de aprovechamiento energético fue calculado entre el 10% y el 18% de todo el contenido calórico, según el fluido de trabajo del ciclo Rankine, destacando el tolueno por su alto rendimiento. El *layout* del proceso definió la cantidad de tuberías, accesorios, válvulas y aspectos de obra civil, eléctrico y de control automático para el cálculo de los costos de inversión. También, la evaluación financiera reportó viabilidad con los indicadores VPN, TIR y ROI para diferentes escenarios de fluido de trabajo, porcentaje de préstamo inicial, años de amortización y fluctuaciones del precio de la electricidad.

*Palabras clave:* aprovechamiento energético, centros de cremación, *layout*, ciclo de Rankine, turbina de ducto.

---

## Data-Driven PV Solar Production Forecasting Using Machine Learning Algorithms

*Romel Arturo Oliveros Villanueva, Juan Carlos Vélez Díaz, Arturo González Quiroga*

Universidad del Norte

romelo@uninorte.edu.co, jcvelez@uninorte.edu.co, arturoq@uninorte.edu.co

### Resumen

Modern economies demand an enormous amount of electrical energy which implies challenges in both energy generation and management. In this regard, the 2015 United Nations Climate Change Conference (COP21) marked a worldwide milestone in the fight against global warming, causing many governments around the world to seek to diversify their energy matrix by making it more resilient to the environmental dynamics by including non-conventional renewable energy sources, as well as novel methods to mitigate the negative effects of global warming and climate change. Microgrids based on solar photovoltaic (PV) panels, are emerging as a promising option for transforming electrical systems, but their integration with large-scale power networks faces significant challenges due to the intermittent and fluctuating nature of solar PV production, leaving a chance for technologies such as solar energy production forecasting to be implemented. There are different trends to achieve accurate PV power forecasting based on data driven, such as hybrid algorithms, hyperparameter optimization, and an efficient data preprocessing. Also, several studies presented single models based on Machine Learning (ML) algorithms to classify data or identify complex patterns within datasets. Other works incorporate preprocessing stages and hyperparameter tuning techniques. Finally, some approaches implemented complex hybrid algorithms to predict solar PV power generation. All these approaches look for improved accuracy for Short Term forecasting in PV Power

production. Thus, this study presents a data-driven method to develop short-term solar PV power forecasting models based on artificial neural networks (ANN), such as Multilayer Perceptron (MLP) and Long Short-Term Memory (LSTM) models, using data preprocessing and hyperparameter tuning stages. According to the results, the data preparation procedure and the implementation of Grid Search (GS) and Bayesian Optimization (BO) techniques for tuning hyperparameters, as well as the training process with only a pair of high and low levels, make both models handle successful scores, with Mean Absolute Percentage Error (MAPE) and R-squared for GS in MLP and BO in LSTM of 1.94 and 0.88%, and 0.9999 and 0.9999, respectively. Future works may explore another advanced technique for data preprocessing, parameter tuning, or hybrid Deep Learning methods.

*Palabras clave:* fotovoltaic, forecasting, neural, machine, learning.

## Caracterización electroquímica y evaluación del desempeño de una pila comercial de celdas de combustible tipo PEM

*Jaime Aguilar-Arias, Laura Alejandra Valencia Uribe, Juan David Rojas Merchán, Andrés Felipe Otálvaro Neuto*

Universidad Nacional de Colombia  
jlaguilara@unal.edu.co, lvalenciau@unal.edu.co, jurojasm@unal.edu.co,  
aotalvaron@unal.edu.co

### Resumen

El desarrollo y aplicación de la tecnología de celdas de combustible ha cobrado gran relevancia como alternativa para el aprovechamiento de fuentes de energía renovables más eficientes y sostenibles. En particular, gracias a su eficiencia y capacidad de operación a bajas temperaturas, las celdas de

combustible de electrolito polimérico (PEM-FC), han permitido la llegada al mercado de productos que emplean este tipo de celdas, como los vehículos que funcionan con hidrógeno. Estos vehículos ya cuentan con una gran plataforma tecnológica desarrollada por los fabricantes, especialmente en las unidades de control de potencia (PCU) para la administración de la energía generada en la celda combustible, de lo cual la información publicada es muy escasa. Por esto, en este trabajo se obtiene información sobre la dinámica del comportamiento de una pila de celdas PEM de baja potencia (12 W nominales), mediante técnicas de caracterización electroquímica y de protocolos estándar para la evaluación del desempeño de este tipo de celdas. Se estudió la pila Horizon FCS-B12 (H-12), bajo el protocolo de caracterización de desempeño del Departamento de Transporte de los Estados Unidos, mediante curvas de polarización variando la densidad de corriente a 10, 20 y 30 mA/cm<sup>2</sup> y con diferentes horas de uso, y del protocolo europeo de durabilidad (FCTESTNET PEFC SC 5-4) con cronopotenciometrías mediante ciclos de variación de densidades de corriente de 10 y 20 mA/cm<sup>2</sup>. Los resultados de las curvas de polarización muestran una evolución positiva para los primeros ensayos en términos del desempeño de la celda, con incrementos de la potencia entregada cercanos al 1 % entre pruebas sucesivas. Sin embargo, el desempeño resulta ser inferior en un 5.6 % respecto a los reportados por el fabricante a 1A, por lo cual para efectos de extender la vida útil de la pila en los ensayos de durabilidad se decidió operar a una potencia de referencia de 5 W (20 mA/cm<sup>2</sup>), con corriente total de 600 mA. El comportamiento en el cual se evidencia una mejora el desempeño de la celda en los ensayos iniciales, también ha sido observado previamente en otras celdas estudiadas por parte del equipo de trabajo en el Semillero de Investigación. Este estudio contribuye al conocimiento del comportamiento dinámico de las celdas de combustible, permitiendo diferenciar fenómenos de degradación reversibles e irreversibles. Los hallazgos obtenidos

permiten capacitar al personal en cuanto al uso adecuado de los dispositivos que van a usar las celdas como fuente de potencia, proporcionando una base sólida para su integración en diversas aplicaciones comerciales.

*Palabras clave:* celdas de combustible PEM, hidrógeno, transición energética, desempeño electroquímico, degradación irreversible.

## Integración de tecnologías para suministrar calor y electricidad en zonas de alta montaña

*<sup>1</sup>Nelcy Daniela Socha Rojas, <sup>1</sup>Viatcheslav Kafarov,  
<sup>1</sup>Victor Alexis Lizcano González, <sup>1</sup>María Paula Carvajal  
Arciniegas, <sup>2</sup>Brayan Eduardo Tarazona Romero*

<sup>1</sup>Universidad Industrial de Santander, <sup>2</sup>Unidades Tecnológicas de Santander  
nelcy2238043@correo.uis.edu.co, kafarov@uis.edu.co,  
victor.lizcano@correo.uis.edu.co, maria2238038@correo.uis.edu.co,  
btarazona@correo.uts.edu.co

### Resumen

En la actualidad, la mayor parte de la energía utilizada tanto en los hogares como en la industria proviene de recursos fósiles, como el petróleo, el carbón y el gas natural. Esto repercute en la contaminación ambiental y aumenta las emisiones de gases de efecto invernadero. Hasta un 50% de esta demanda de energía se da para la generación de calor y un menor porcentaje para la generación de electricidad. Con el fin de transitar hacia energías renovables, ha destacado la energía solar, que puede aprovecharse como energía solar térmica enfocada en el suministro de agua caliente sanitaria, calefacción o como energía solar fotovoltaica para la generar electricidad. Colombia está situada en una zona tropical, y debido a esto se puede encontrar un nivel de irradiación solar directa de 4.5 kWh/m<sup>2</sup> y que alcanza alrededor de 7 kWh/m<sup>2</sup> en algunas

regiones con una media de hasta 8 horas de sol directo al día. Para la adaptación de este sistema se requiere estudiar su tipología, lo cual representa una inversión significativa de tiempo y recursos. El uso de herramientas computacionales, como el software TRNSYS (Transient System Simulation Tool Thermal Energy System Specialists, LLC), reducen el costo y tiempo de estudio de los parámetros necesarios para la implementación de sistemas solares, teniendo en cuenta su ubicación y características climáticas. Aquí se propuso analizar un sistema integrado de unidad de generación de calor solar junto con una central fotovoltaica para suministrar calor y electricidad a una vivienda en zona de alta montaña (Berlín, Santander). Su funcionamiento se simuló mediante el *software* TRNSYS, teniendo en cuenta los aspectos de variabilidad tanto de las condiciones meteorológicas como de la demanda energética de esta vivienda promedio. Los resultados muestran la viabilidad de esta integración e implementación de tecnologías completamente renovables, que podrían ser una forma de impulsar el desarrollo de regiones aisladas.

*Palabras clave:* TRNSYS, energía renovable, solar fotovoltaica, solar térmica, transición energética.

---

## Producción de biogás a partir de excretas porcinas en un digester anaerobio para producción de energía en zonas rurales de Bolívar

*Laura Sofía Ramírez Wilches, Carlos Julio López  
De La Hoz, Johan Manuel Villalobos Castillo*

Universidad de San Buenaventura (sede Cartagena)  
laura.ramirez@usbctg.edu.co, cjlopezd@miusbctg.edu.co,  
jmvillalobosc@miusbctg.edu.co

### Resumen

Los renglones productivos agrícola y pecuario son de los más importantes en Colombia, pero implican también una gran producción de residuos, dentro de los cuales se pueden mencionar las excretas de la ganadería, que constituyen una problemática asociada con la generación de gases de efecto de invernadero. Por otro lado, en las zonas rurales, para cocinar se recurre a la tala de árboles, por falta de redes de gas natural y elevados costos de cilindros de gas. Como alternativa a esto, se busca aprovechar el potencial energético presente en las excretas porcinas para producir biogás, mediante digestión anaerobia, que pueda utilizarse para uso doméstico en fincas del departamento de Bolívar. Así, en esta investigación se diseñó y construyó un biodigester anaerobio tipo Batch partiendo de una simulación en Aspen Plus v. 12<sup>©</sup> para el cálculo del volumen del reactor basado en la caracterización de la relación C/N de la materia prima, con el fin de alcanzar una exactitud mayor al 70 % para el dimensionamiento real del proceso, y una vez construido se establecieron relaciones de agua/excretas (60/40 y 50/50) para evaluar parámetros como composición del biogás ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ), pH, temperatura y presión durante un periodo de 35 días. En el proceso se obtuvo un biogás con un 58.8 % de metano y 100 ppm de  $\text{H}_2\text{S}$ , y un volumen de 1.44 m<sup>3</sup> de gas. Adicionalmente, se evaluó la relación C/N de los subproductos: biol y biosol

como alternativa para uso fertilizante en las fincas mediante la normativa colombiana NTC 5167, obteniendo valores de 21.5 y 19.8, respectivamente.

*Palabras clave:* biogás, excretas porcinas, biodigestión, reactor anaerobio.

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

*Alba N. Ardila A., Luis Alfredo Ruiz Zapata, Madelyn Ortiz Quiceno, Erasmo Arriola-Villaseñor, Víctor Manuel Galindo Acosta*

Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid  
anardila@elpoli.edu.co, luis\_ruiz80142@elpoli.edu.co,  
madelyn\_ortiz64212@elpoli.edu.co, erasmoarriola@elpoli.edu.co,  
victorgalindo@elpoli.edu.co

### Resumen

El presente estudio aborda la síntesis y caracterización de carbones obtenidos a partir de neumáticos pirolizados, evaluando el impacto de la amplitud de sonicación y el orden de los tratamientos sobre la eficiencia de degradación del colorante Azul 21 mediante carbocatálisis. Los materiales sometidos a sonicación posterior a la pirólisis mostraron un menor contenido de cenizas, mayor área superficial y mayor población de grupos funcionales superficiales, lo que favoreció su desempeño en la degradación del colorante. En términos de rendimiento global y contenido de cenizas, los materiales tratados con sonicación posterior registraron una ligera variación en su rendimiento; mientras que el contenido de cenizas fue menor en los materiales sonicados después de la pirólisis. En cuanto a las propiedades texturales, el área superficial varió entre 62.20 y 83.19 m<sup>2</sup>/g, siendo el material pirolizado a 500 °C y sonicado después con un porcentaje de amplitud del 80%

(TC-500-SA-80) el de mayor área. El volumen del poro osciló entre 0.42 y 0.54 cm<sup>3</sup>/g; mientras que el tamaño del poro se situó entre 27.68 y 34.66 nm. La sinergia en la carbocatálisis presentó valores superiores a 1 en la mayoría de los casos, destacándose el material pirolizado a 500 °C y sonificado antes con un porcentaje de amplitud del 100 % (TC-500-SB-100) con un valor de 1.74. La sonicación mejoró la eficiencia del proceso de carbocatálisis, al facilitar la generación de sitios activos y aumentar la adsorción reversible del colorante para su posterior degradación. El análisis de sinergia evidenció que los materiales con valores superiores a 1 mostraron un efecto catalítico positivo, mejorando la degradación del colorante; en tanto que el TC-500-SA-100 presentó un valor de 0.83, lo que sugiere un efecto antagónico posiblemente, debido a interacciones desfavorables en los sitios activos.

*Palabras clave:* neumáticos fuera de uso, materiales carbonosos, carbocatálisis, colorante Azul 21.

---

## **Biorrefinería de *Ipomoea batatas*: obtención de bioetanol de segunda generación**

*Magali Camila Vivas Cuéllar*

Universidad Nacional de Ingeniería  
mvivas@uni.edu.pe

### **Resumen**

La biorrefinería se justifica porque siempre hay excedentes de papa, camote y otros que se venden a precios muy bajos o incluso que se desechan, pero que, por su contenido de almidón, pueden usarse para producir bioetanol de segunda generación, dándole un mayor valor agregado a estos tubérculos peruanos, al cultivarse en cantidades masivas. La tecnología

de producción de etanol a partir de materias amiláceas es ampliamente conocida; involucra tres etapas: gelatinización, hidrólisis enzimática (dos etapas) y fermentación. En las dos primeras se emplean enzimas amilolíticas, y en la etapa de fermentación, levaduras como la *Sacchromyces cerevisiae*. Se utilizó la relación de 1:1 entre el tubérculo y el agua para iniciar la gelatinización a 100 °C. Luego se enfrió para formar una pasta y proceder a la hidrólisis enzimática: con  $\alpha$ -amilasa a 80 °C por 1 h y con glucoamilasa a 60 °C por 1 h, a fin de obtener una solución de 18 °Brix. En la fermentación a temperatura ambiente (23 °C) con levadura *S. cerevisiae* a 10 °Brix por 3 días, se filtra y se destila, y se obtiene bioetanol. Luego de realizar la gelatinización se obtuvo una pasta con 2.5 °Brix a 3 °Brix. Depende del grado de maduración de la *Ipomoea batatas*. Después de la hidrólisis enzimática, se obtuvo una solución de 17 °Brix a 19 °Brix. Finalmente, en la fermentación con levadura *S. cerevisiae* se consigue una reducción de grados Brix de 18 a 10.

*Palabras clave:* bioetanol, *Ipomoea batatas*, hidrólisis enzimática.

## Biorrefinería de semilla de *Persea americana*: obtención de bioetanol de segunda generación

*Magali Camila Vivas Cuéllar*

Universidad Nacional de Ingeniería  
mvivas@uni.edu.pe

### Resumen

El aguacate (*Persea americana*) es oriundo del árbol originario de Guatemala y México; pero su industrialización da lugar a una gran cantidad de residuos, como la cáscara o el hueso, aun cuando también residuos de la poda y extracción

de aceite. Esta biomasa puede convertirse en coproductos y aprovecharla en el diseño de producción en modelos de la biorrefinería: bioenergía, biocombustibles, almidón, proteínas o bioabsorbentes. La metodología incluye la extracción de la semilla del aguacate, seguida de un pretratamiento para facilitar la liberación de azúcares fermentables. Se lleva a cabo un proceso de hidrólisis enzimática utilizando enzimas específicas para descomponer la celulosa y la hemicelulosa presentes en la biomasa. Se utilizó la relación de 1:1 entre la semilla de *P. americana* y el agua para iniciar la gelatinización a 100 °C. Luego se pasa por un molino de mano y se mezcla con el agua de gelatinización. Se procede a la hidrólisis enzimática: con  $\alpha$ -amilasa a 80 °C por 1 h y con glucoamilasa a 60 °C por 1 h, para obtener una solución de 25 °Brix. En la fermentación a temperatura ambiente (23 °C) con levadura *Saccharomyces cerevisiae* a 13 °Brix por 3 días, se filtra, se destila y se obtiene bioetanol.

*Palabras clave:* bioetanol, ipomea batata, hidrólisis enzimática.

---

## Materiales y nanotecnología

Los materiales avanzados y la nanotecnología son habilitadores para diferentes industrias y procesos, pues ofrecen propiedades más selectivas, eficiencia en las variables, capacidades de almacenamiento, recubrimientos funcionales, entre otros. La frontera científica ha pasado de diseñar materiales con propiedades programables (estructura-propiedad-proceso) y ahora hace hincapié en escalado, circularidad y seguridad de procesos. La consolidación de estándares y marcos regulatorios está acelerando su adopción industrial.

Desde el contexto colombiano, la Política Nacional de Reindustrialización (Conpes 4129 de 2023) ha impulsado la sofisticación productiva y encadenamientos en sectores intensivos en tecnología —incluyendo transición energética y bioeconomía— que demandan materiales avanzados (almacenamiento, separaciones, catalizadores y biomateriales), abriendo oportunidades de investigación, desarrollo, innovación y escalamiento. Este capítulo se integra a esa agenda: diseñar materiales con análisis de ciclo de vida desde el origen, habilitar rutas de reciclaje y asegurar su cumplimiento regulatorio desde el laboratorio hasta la planta. Veamos a continuación algunos adelantos realizados en la materia.

## Síntesis y evaluación de membrana compuesta de PVDF/nanocelulosa para la remoción de mercurio en aguas contaminadas del canal del Dique

*Kendrik Joel Marrugo Barroso, José Gabriel Montalvo Atencia,  
María Teresa Acevedo Morantes, Álvaro Realpe Jiménez*

Universidad de Cartagena  
kmarrugob@unicartagena.edu.co, jmontalvoal@unicartagena.edu.co,  
macevedom@unicartagena.edu.co, arealpe@unicartagena.edu.co

### Resumen

En el presente estudio se evaluó el efecto de la concentración de fibras de nanocelulosa (CNF) extraída de hojas de piña en la modificación de membranas de fluoruro de polivinilideno (PVDF) para la remoción de mercurio (Hg) en aguas contaminadas del canal del Dique (Colombia). Este cuerpo de agua enfrenta una severa contaminación por metales pesados como el mercurio, cuya alta toxicidad y persistencia ambiental representan una amenaza crítica para la salud pública y la biodiversidad. Diversos estudios han demostrado que las tecnologías basadas en membranas poliméricas son alternativas prometedoras frente a métodos tradicionales de tratamiento de agua. Por ese motivo, se propone sintetizar una membrana polimérica compuesta por PVDF/CNF mediante inversión de fase utilizando N,N-dimetilformamida (DMF) como solvente. Asimismo, se busca caracterizar la morfología y la estructura química de las membranas con técnicas como microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). Lo siguiente es evaluar la adición de diferentes concentraciones de CNF (1 %, 3 %, 5 % y 10 %) y así determinar su impacto en estas propiedades, buscando alcanzar una mejora en hidrofiliidad con un ángulo de contacto inferior a 80° y porosidad cercana al 20 %. Se espera una reducción del ensuciamiento de las membranas, alcanzando una tasa de recuperación de flujo cercana al 80 %,

así como una capacidad de adsorción de mercurio de entre 600 y 700 mg/g. Este trabajo buscó desarrollar membranas PVDF/CNF con propiedades hidrofílicas y resistencia al ensuciamiento, utilizando materiales renovables como las hojas de piña, que se posicionan como una solución sostenible y eficiente para la remediación de aguas contaminadas con mercurio en zonas vulnerables como el canal del Dique.

*Palabras clave:* canal del Dique, ensuciamiento, hidrofiliidad, membrana PVDF/CNF, remoción de mercurio.

---

## Síntesis y evaluación de membrana compuesta de PVDF/nanocelulosa para la remoción de cadmio en aguas contaminadas

*José Gabriel Montalvo Atencia, Kendrik Joel Marrugo Barroso,  
María Teresa Acevedo Morantes, Álvaro Realpe Jiménez*

Universidad de Cartagena

jmontalvoal@unicartagena.edu.co, kmarrugob@unicartagena.edu.co,  
macevedom@unicartagena.edu.co, arealpe@unicartagena.edu.co

### Resumen

En este estudio se evaluó la síntesis y caracterización de una membrana compuesta a partir de fluoruro de polivinilideno (PVDF) y fibras de nanocelulosa (CNF) extraída de hojas de piña, diseñada para aplicaciones de ultrafiltración en aguas contaminadas con cadmio (Cd), específicamente del río Bogotá (Colombia). El cadmio, un metal pesado altamente tóxico, representa un grave riesgo para los ecosistemas y la salud humana; está asociado con la incidencia de enfermedades pulmonares, hipertensión, cáncer y leucemia. Su concentración en fuentes hídricas ha incrementado y generado bioacumulación, debido al uso de fertilizantes fosfatados, procesos galvánicos y producción de pigmentos. Por otro

lado, los métodos tradicionales para la remoción de cadmio presentan limitaciones técnicas y económicas, lo que ha llevado al desarrollo de tecnologías más eficientes como las membranas compuestas. Entre estas, las membranas de PVDF son ampliamente utilizadas por su resistencia química, propiedades mecánicas y estabilidad térmica; sin embargo, su naturaleza hidrofóbica genera incrustaciones que afectan su flujo y vida útil, incrementando los costos operativos. Para superar este desafío, investigaciones recientes han explorado la modificación de PVDF con materiales que incrementen su hidrofiliidad y mejoren así su capacidad *antifouling* y rendimiento de separación. En este contexto se propone sintetizar membranas a distintas concentraciones de CNF (1 %, 3 % y 5 % w/w) como componente hidrofílico, utilizando el método de separación de fases inducida por no disolvente (NIPS), empleando agua ionizada y N,N-dimetilformamida. Las membranas resultantes serán caracterizadas mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), microscopía electrónica de barrido (SEM), propiedades mecánicas, estabilidad fisicoquímica y eficacia de eliminación de cadmio. Además, será evaluada su capacidad *antifouling* mediante la relación de recuperación de reflujo (FRR). Se espera que la adición de nanocelulosa aumente la FRR en más de un 6 % en la remoción de cadmio y que la membrana resultante no presente deterioro en sus propiedades mecánicas.

*Palabras clave:* membrana compuesta, tratamiento de agua, cadmio.

---

## Desarrollo y caracterización de películas biodegradables a partir de almidón de yuca amarga, gelatina y celulosa, funcionalizadas con extracto vegetales

Juan Alcalá Castilla, Candelaria Tejada Tovar, Rodrigo Ortega Toro, Ángel Villabona Ortiz, Juan Vergara Villadiego

Universidad de Cartagena

jalcalac@unicartagena.edu.co, ctejadat@unicartagena.edu.co, rortegap1@unicartagena.edu.co, avillabonao@unicartagena.edu.co, jvergarav1@unicartagena.edu.co

### Resumen

La búsqueda de alternativas ecológicas a los plásticos ha impulsado el desarrollo de biopelículas basadas en biopolímeros naturales. Estas pueden funcionalizarse con aceites esenciales, extractos vegetales y otros aditivos para mejorar sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes, y así contribuir a la conservación de los alimentos. Se han usado diversos polímeros en su elaboración, como quitosano, pectina, alginatos y fibras naturales, al igual que compuestos activos, como aceite esencial de orégano, extracto de cáscara de coco, entre otros. Este estudio tuvo como objetivo caracterizar el almidón de yuca amarga mediante FT-IR, TGA y DSC, para obtener películas biodegradables activas por el método *casting*. Las películas mostraron variaciones en sus propiedades según la concentración de los aditivos, mejorando su actividad antioxidante y antimicrobiana con la adición de extracto de moringa y aceite esencial de limoncillo. En cuanto a sus propiedades ópticas, se registraron cambios en color y brillo sin afectar significativamente la transparencia. Las propiedades físicas, como grosor, contenido de humedad, solubilidad en agua y capacidad de absorción, variaron según la composición, mostrando mayor estabilidad con concentraciones moderadas de los aditivos naturales. Por último, la evaluación de la permeabilidad al vapor de agua evidenció una mejora en la

capacidad de barrera de las películas, especialmente con la adición del aceite esencial de limoncillo. Estos resultados sugieren que las películas desarrolladas tienen potencial como material biodegradable activo para empaques de alimentos y que ofrecen una alternativa sostenible a los materiales convencionales.

*Palabras clave:* biomateriales, biopolímeros, conservación de alimentos, embalaje ecológico, residuo agroindustrial.

---

## Identificación de almidones nativos para el desarrollo de empaques biodegradables en la industria de los alimentos

*Juan Alcalá Castilla, Nathalia Lucía Castillo Lozano, Candelaria Tejada Tovar, Ángel Villabona Ortiz, Juan Vergara Villadiego*

Universidad de Cartagena

jalcalac@unicartagena.edu.co, ncastillo1@unicartagena.edu.co,  
ctejadat@unicartagena.edu.co, avillabona@unicartagena.edu.co,  
jvergaravl@unicartagena.edu.co

### Resumen

La contaminación por plásticos se ha convertido en una gran preocupación mundial, porque son muy resistentes a la degradación. Estos materiales pueden tardar muchos años en descomponerse y ocasionar diversos daños en los ecosistemas y en los seres humanos. Dado lo anterior, entre las alternativas para sustituir los plásticos por un material más amigable con el planeta, están los biomateriales, más específicamente los derivados de los almidones, que presentan una oportunidad significativa para reducir el impacto ambiental de los materiales de embalaje convencionales. Los almidones nativos, como los de maíz, yuca y babasú, poseen propiedades únicas que los hacen adecuados para aplicaciones en empaques biodegradables; tienen, además, la capacidad de formar películas

con buenas propiedades mecánicas y de barrera, aunque su estabilidad térmica y resistencia al agua varíe. El objetivo del presente estudio consistió en elaborar un estado del arte por medio del cual identificar diferentes almidones nativos con uso potencial para la fabricación de empaques de alimentos. En este estudio se aborda la caracterización físico-química de biomateriales sintetizados, en pro de evaluar su viabilidad en la producción de empaques biodegradables. Se destaca el papel fundamental de los almidones nativos en este desarrollo, enfatizando su impacto en la sostenibilidad ambiental y su potencial para promover prácticas más ecológicas en la industria alimentaria. Además, se exploran distintas técnicas de extracción de almidón y su influencia en la calidad del material obtenido, lo que resulta clave para optimizar su aplicación en empaques biodegradables. Finalmente, se revisan las normativas y regulaciones vigentes en los ámbitos internacional, nacional y local, proporcionando un marco legal que orienta su uso. De acuerdo con los resultados, existen diferentes almidones nativos en Colombia que permiten su aprovechamiento, entre estos los cultivos de cacao, taro, papa, ñame, plátano, maíz o batata, sin poner en peligro la seguridad alimentaria, es decir, materiales de rechazo y desechos agrícolas y agroindustriales de estos cultivos propios de las distintas regiones de Colombia. Entre las diferentes técnicas de extracción de almidones se resaltan: extrusión, ultrasónico, microondas, enzimáticos, sinérgicos, intercambio de solventes e hidrólisis ácida. Colombia tiene potencial para el desarrollo de bioeconomía en torno a la creación de empaques biodegradables dirigidos a la industria alimentaria y así contribuir al desarrollo sostenible del país.

*Palabras clave:* almidones nativos, empaques biodegradable, biopolímeros, economía circular, sostenibilidad.

---

## Síntesis de películas biodegradables utilizando PHB, almidón de *Manihot esculenta* Crantz y celulosa de *Cocos nucifera* L.

*Nicole Yances Güette, Candelaria Tejada  
Tovar, Rodrigo Ortega Toro*

Universidad de Cartagena  
nyancesg@unicartagena.edu.co, ctejadat@unicartagena.edu.co,  
rortegap1@unicartagena.edu.co

### Resumen

El crecimiento poblacional y la globalización han impulsado el uso masivo de plásticos derivados del petróleo, lo que representa una amenaza ambiental, debido a su acumulación y liberación de sustancias nocivas. Los plásticos de un solo uso surgieron como una respuesta económica al modelo consumista; pero su impacto ambiental ha impulsado la búsqueda de alternativas biodegradables y sostenibles. Así, se han desarrollado alternativas sostenibles, como materiales biodegradables incluyendo bambú, cartón, algas marinas y almidón de maíz, los cuales se descomponen naturalmente sin generar residuos tóxicos. En este estudio, se exploró la producción de biopelículas a partir de almidón de yuca amarga, polihidroxitbutirato (PHB) y celulosa extraída del mesocarpio de coco, con el objetivo de desarrollar materiales con propiedades adecuadas para su aplicación como recubrimientos en alimentos. Los resultados obtenidos evidenciaron la viabilidad del aprovechamiento de residuos lignocelulósicos, logrando una extracción eficiente de nanocelulosa con una tasa del 43.5 % y almidón con una tasa del 53.6 %. Asimismo, la caracterización mediante FTIR permitió confirmar la presencia de bandas características del almidón y la celulosa, al evidenciar su pureza y estructura química. La comparación del espectro de la celulosa extraída con la celulosa comercial indicó que el proceso de extracción fue eficiente y logró un material con características similares.

En conclusión, la combinación de estos biopolímeros y materiales naturales ofrece una alternativa prometedora a los plásticos convencionales. La investigación demuestra el potencial de los residuos agroindustriales para la producción de biopelículas, a la vez que se fomenta un enfoque sostenible en la industria de empaques y contribuye a la reducción de la contaminación plástica. Futuras investigaciones podrán optimizar la formulación y evaluar su desempeño en aplicaciones específicas, fortaleciendo el desarrollo de materiales biodegradables en el país.

*Palabras clave:* yuca amarga, biopelículas, bioplásticos, mesocarpio de coco, polihidroxibutirato.

## Desarrollo de películas biodegradables a partir de PLA, almidón de *Solanum tuberosum* L. y nanocelulosa de *Zea mays* L.

*Nicole Yances Güette, Saray De LaHoz Castro, Candelaria Tejada Tovar, Ángel Villabona Ortiz, Rodrigo Ortega Toro*

Universidad de Cartagena

nyancesg@unicartagena.edu.co, ctejadat@unicartagena.edu.co,  
rortegapl@unicartagena.edu.co, Sdelahozc@unicartagena.edu.co,  
avillabona@unicartagena.edu.co

### Resumen

La contaminación por plásticos convencionales, que tardan siglos en degradarse, representa una amenaza global, con millones de toneladas de residuos acumulados en ecosistemas y vertederos. En Colombia se estima un costo anual de dos mil millones de pesos por plásticos no reciclados. Ante esto, los bioplásticos emergen como alternativas viables porque combinan biodegradabilidad, fuentes renovables y contribución a la economía circular. Investigaciones recientes destacan avances

en el desarrollo de biopelículas reforzadas con fibras naturales y nanopartículas, como mejoras en propiedades mecánicas, barrera contra humedad y funcionalidad para empaques. Este trabajo sintetiza una biopelícula basada en ácido poliláctico (PLA), almidón de papa de rechazo y nanocelulosa extraída del seudotallo de maíz de residuos agrícolas. Los resultados obtenidos permiten observar que las propiedades ópticas encontradas en la película sintetizada presentan cambios en color y brillo sin ocasionar una consecuencia significativamente en la transparencia. Por otro lado, las propiedades físicas de la película, como el grosor y la solubilidad en agua presentaron variaciones dependiendo de su composición, lo cual evidencia mayor estabilidad con concentraciones moderadas de los aditivos naturales empleados. De igual manera, el análisis FTIR confirmó características del almidón y la celulosa, presentes en la película obtenida; entre tanto, comparando el espectro de la celulosa comercial con la extraída, se observó que se obtuvo un material con características similares. Este estudio ofrece una alternativa potencial de la implementación de los residuos agroindustriales para la producción de películas biodegradables alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 9 y 12.

*Palabras clave:* biopelículas, empaques alimentarios, nanocelulosa, papa de rechazo, residuos agrícolas de maíz.

---

## Evaluación de la resistencia a la corrosión del aluminio AA6063 anodizado usando ácido sulfúrico con adiciones de ácido cítrico

*Humberto Arce Chacmana, Adriana Montoya Flores,*

*Abel Vergara Sotomayor, Pedro Pizarro Solís*

hsarce@hotmail.com, amontoyaflores@gmail.com, avergara@uni.edu.pe,

ppizarro@uni.edu.pe, kpaucar@uni.edu.pe

Universidad Nacional de Ingeniería

### Resumen

El aluminio es uno de los materiales más usados en la industria y en la construcción, con un sinnúmero de aplicaciones: estructura automotriz, envases, perfiles de construcción, entre otros. El aluminio, ante la acción de los agentes atmosféricos, se protege de forma natural formando una delgada película de óxido. Esta capa de óxido de aluminio puede alcanzar un espesor de 1 Å aprox. El espesor de este óxido se puede incrementar mediante el proceso electrolítico de anodizado, y las soluciones electrolíticas convencionales de ácido sulfúrico y ácido crómico son las más ampliamente utilizadas, ya que se logra un alto rendimiento en la formación y calidad de la capa, pero teniendo un grado de toxicidad en los efluentes. El anodizado con ácido sulfúrico forma una capa porosa y una capa barrera compacta, presente entre el metal y la capa porosa; por ello, el proceso de sellado es necesario para mejorar sus propiedades, como espesor, color, resistencia a la corrosión, etc. Procedimientos de anodizado utilizando ácidos orgánicos e inorgánicos, así como aditivos naturales, están permitiendo mejorar costos de producción, realizar un mejor manejo de efluentes o ampliar sus aplicaciones. En la presente investigación se realizó el anodizado del aluminio AA6063 en ácido sulfúrico en un rango de concentraciones de 10 % al 15 % en peso y mezclas de ácido sulfúrico al 10 % en peso con adiciones de ácido cítrico comercial, del 1 % al

5 %, con la finalidad de evaluar y comparar el espesor y la resistencia a la corrosión de las películas de óxido en ausencia y presencia de ácido cítrico. Luego del proceso de anodizado a 20 °C y 1.5 A/dm<sup>2</sup> y sellado de las películas de óxido obtenidos, se midió el espesor y la resistencia a la corrosión usando la espectroscopia de impedancia electroquímica (EIE), usando un sistema de 3 electrodos y una señal de voltaje de 10 mV en el rango de frecuencias de 100 kHz a 1 mHz. Los resultados permitieron establecer que usando adiciones de ácido cítrico es posible alcanzar similares propiedades de resistencia a la corrosión de las películas de anodizado usando solo soluciones de ácido sulfúrico.

*Palabras clave:* aluminio, anodizado, ácido sulfúrico, ácido cítrico, espectroscopía de impedancia.

## Modificación química de almidones de la región caribe colombiana y su potencial uso como agente emulsificante en la industria cosmética

*<sup>1</sup>Cristina Isabel De La Parra Molina, <sup>1</sup>Glicerio León Méndez, <sup>2</sup>Adriana Herrera Barros, <sup>2</sup>María del Rosario Osorio Fortich*

<sup>1</sup>Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, <sup>2</sup>Universidad de Cartagena  
cdelaparra@tecnologicocomfenalco.edu.co, glicerio.leon@tecnologicocomfenalco.edu.co, aherrerab2@unicartagena.edu.co, mosoriof@unicartagena.edu.co

### Resumen

El trabajo tuvo como objetivo explorar la modificación química de almidones nativos de la región del Caribe para evaluar su aplicabilidad como agentes emulsificantes en la industria cosmética. Se utilizaron como reactivos anhídrido succínico, anhídrido octenil succínico y anhídrido dodecenil

succínico, aplicando 3 diferentes concentraciones de 5 mL, 10 mL y 15 mL de reactivo. Los almidones se extrajeron de tubérculos como ñame espino, malanga, batata, yuca, y de granos como arroz. La modificación se llevó a cabo mediante un proceso de esterificación, que introdujo grupos funcionales en las estructuras moleculares de los almidones. La inclusión de estos grupos se confirmó con la técnica de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), que evidenció los cambios estructurales en los almidones nativos. Los resultados obtenidos demostraron que la capacidad emulsificante de los almidones modificados aumentaba proporcionalmente con la concentración de reactivo utilizado. A medida que se incrementaba la cantidad de anhídrido succínico, octenil succínico o dodecenil succínico, las propiedades de emulsificación y la estabilidad de las emulsiones mejoraban significativamente. Este comportamiento sugirió que los almidones modificados tenían un gran potencial para ser utilizados como emulsionantes en productos cosméticos, lo que abría nuevas posibilidades para el desarrollo de formulaciones más naturales y sostenibles. Por lo tanto, la modificación química de almidones de la región caribe, utilizando estos reactivos, presentó una opción prometedora para la industria cosmética, con el potencial de ofrecer soluciones innovadoras y ecológicas para la formulación de productos emulsionantes.

*Palabras clave:* almidón modificado, cosméticos, esterificación.

---

## Desarrollo de un material polimérico con AgNP obtenidas mediante plantas del Caribe colombiano para el tratamiento de aguas almacenadas

*Vanessa Bolaño Torres, María José Cetina González, Zary Luz Cuadrado Jiménez, Melisa Dayana Jiménez Cantillo*

Universidad Tecnológica de Bolívar  
vbolano@utb.edu.co, mcetina@utb.edu.co, zcuadrado@utb.edu.co,  
mcantillo@utb.edu.co

### Resumen

En el Departamento de Bolívar (Colombia), ubicado en el extremo norte del país, en algunos de sus municipios, hay serias deficiencias en la infraestructura de sus acueductos. Ello implica que sus pobladores no acceden a un suministro adecuado, y que en los casos en los cuales los hay, la calidad del agua no es confiable para el consumo humano, lo que impacta directamente en la salud de sus habitantes. Para abordar este problema, se propone desarrollar un material compuesto por una matriz de alginato de calcio y polímero biobasado reforzado con nanopartículas de plata (AgNP), obtenidas mediante síntesis verde con propiedades bactericidas. Estas ofrecen una alternativa sostenible y accesible para comunidades que dependen de fuentes de abastecimiento no convencionales. Esta solución se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 de la Agenda 2030, que busca garantizar el acceso universal a agua potable y saneamiento, y con la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. El desarrollo de materiales poliméricos reforzados con AgNP ha surgido como una alternativa para los procesos de tratamiento y purificación de distintos tipos de agua. En 2024, se desarrolló un sensor basado en una película compuesta de quitosano/almidón/AgNP para detectar y eliminar iones de mercurio presentes en el agua de grifo y agua del río

Periyar en Kerala (India). En 2025, se sintetizó un compuesto de AgNP/alcohol polivinílico/polietilenglicol con potencial antimicrobiano contra *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*, que permite su aplicación en el control de microorganismos, por ejemplo, en cuerpos de agua. Actualmente, no se tiene información sobre investigaciones en torno al uso de compuestos de alginato de calcio/polímero biobasado/AgNP en el tratamiento de agua. Los objetivos incluyen optimizar los parámetros de síntesis para AgNP, crear un material eficiente para filtrar el agua almacenada y probar su eficiencia para eliminar contaminantes y microorganismos. Para llevar a cabo el proyecto, una marcha fitoquímica identificó metabolitos secundarios como alcaloides, carotenoides, saponinas, taninos, flavonoides y terpenoides en extractos de plantas del Caribe colombiano. Estos compuestos en la síntesis verde actuaron como agentes reductores y estabilizantes, evitando el uso de químicos tóxicos y reduciendo el impacto ambiental. Posteriormente, estas nanopartículas serán incorporadas en una matriz polimérica compuesta por alginato y polímero biobasado, desarrollando así un material con propiedades antimicrobianas. Este debe ser eficiente en la purificación de agua almacenada, seguro para el uso diario, al igual que económico y sostenible para comunidades con acceso limitado al agua. El proyecto propone una solución innovadora y sostenible para el acceso a agua, un desafío global y nacional, alineado con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6. En Colombia, especialmente en zonas rurales, la contaminación del agua por actividades industriales, agrícolas y mineras es un problema crítico. La síntesis verde de AgNP, utilizando recursos vegetales, ofrece una alternativa ecológica y eficaz para eliminar contaminantes y microorganismos. Además, fortalece la nanotecnología y biotecnología, promoviendo tecnologías limpias. Su implementación mejoraría la calidad

de vida en comunidades vulnerables y apoyaría las políticas de sostenibilidad y gestión hídrica en el país.

*Palabras clave:* tratamiento de agua, nanopartículas de plata, matriz polimérica, sostenibilidad.

## Evaluación de los parámetros de proceso en la síntesis de nanopartículas de policaprolactona por el método de nanoprecipitación

*Pedro Alejandro Niño Gualdrón, Ruth Janneth Lancheros Salas*

Universidad Nacional de Colombia  
pnino@unal.edu.co, rlancheros@unal.edu.co

### Resumen

En la última década se han desarrollado diferentes tipos de nanotransportadores para mejorar la biodisponibilidad y la estabilidad de los fármacos, pues las nanopartículas poliméricas son ampliamente utilizadas como vehículos de administración de fármacos. A pesar de que existen diversas metodologías para sintetizarlas, aún se requiere ajustar los protocolos que controlen de mejor manera el tamaño de partícula obtenido. Uno de los materiales empleados para la fabricación de nanopartículas es la policaprolactona, que, al ser un compuesto sintético, hidrófobo y anfifílico, se considera un polímero adecuado en los sistemas de liberación de fármacos, ya que presenta una velocidad de degradación lenta, tiene una baja toxicidad gracias a que sus grupos funcionales son biocompatibles con las células y tejidos humanos, es resistente a la hidrólisis química y tiene una alta permeabilidad a muchos fármacos. Este estudio tiene como objetivo evaluar de manera preliminar el efecto de la temperatura, el peso molecular del polímero, la fase acuosa y la fase orgánica en la síntesis

de nanopartículas de policaprolactona por el método de nanoprecipitación, para encontrar una relación que ayude a predecir la formación de nanopartículas con tamaños reducidos y distribución uniforme. En la metodología se estableció una relación 1:5 de la fase orgánica/fase acuosa usando como disolventes acetona, acetonitrilo, cloroformo y diclorometano, y como no disolventes agua, 1-butanol (99.5 %), 2-propanol, etanol (96 %), propilenglicol y dimetilsulfóxido, temperaturas de 25 °C y 45 °C, y pesos moleculares del polímero de 80 000 y 14 000 kDa. Dentro de los principales resultados, se encontró que, al aumentar el peso molecular del polímero, es menor el tamaño de partícula formada y el índice de polidispersidad. De igual manera, la relación entre fase orgánica y fase acuosa para la generación de nanopartículas de pequeños tamaños depende de la afinidad relativa entre los parámetros de solubilidad y la polaridad de los compuestos, pues el tamaño de partícula es función del momento dipolar neto y la constante dieléctrica. Por otro lado, la temperatura no es determinante en la formación de nanopartículas de tamaño reducido ya que, en algunos casos, aumentar la temperatura generaba tamaños de partícula menores, pero con índices de polidispersidad mayores y viceversa; de ahí que aumentar la temperatura no asegura tamaños de partícula pequeños. En conclusión, para la formación de nanopartículas de tamaño reducido e índices de polidispersidad bajos, se debería aumentar el peso molecular del polímero empleado y trabajar con temperaturas menores; adicionalmente, para obtener partículas entre 258.2 y 459.4 nm con índices de polidispersidad entre 0.183 y 0.444 se debería seleccionar una fase orgánica que tenga momento dipolar y constante dieléctrica bajos y una fase acuosa que tenga mayor afinidad por el disolvente del polímero y una polaridad alta.

*Palabras clave:* policaprolactona, nanoprecipitación, nanopartículas.

## Nanopartículas poliméricas decoradas con quitosano fragmentado como sistemas de modulación de la captación neuronal de fármacos

<sup>1</sup>Héctor Hernández Parra, <sup>2</sup>Gerardo Leyva Gómez

<sup>1</sup>Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, <sup>2</sup>Universidad Nacional Autónoma de México  
hector.hernandez@cinvestav.mx, leyva@quimica.unam.mx

### Resumen

Según la Organización Mundial de la Salud, los trastornos neurológicos se encuentran en el quinto lugar entre las principales causas de mortalidad globales por enfermedades no transmisibles. La enfermedad de Alzheimer y la enfermedad de Parkinson son los trastornos neurodegenerativos más prevalentes en el mundo. Aunque se ha propuesto el uso de nanopartículas (NP) como transportadores de fármacos al cerebro, el desafío sigue siendo el desarrollo de nanotransportadores que sean altamente biocompatibles. La irradiación gamma a una dosis de 25 kGy fragmenta el quitosano (QS) y con ello se obtienen polímeros con muy bajo peso molecular y baja dispersidad. Este estudio tuvo como objetivo modificar el QS mediante irradiación gamma y utilizarlo como recubrimiento superficial de NP sintetizadas a partir de ácido poliláctico-co-glicólico (PLGA), para crear nanosistemas altamente biocompatibles que transporten fármacos a las neuronas. Mediante irradiación con rayos gamma obtuvimos QS irradiado (QS $\gamma$ ) con un peso molecular muy bajo (15.2-19.2 kDa). El recubrimiento de NP-PLGA con QS $\gamma$  provocó cambios significativos en su potencial Z (volviéndolo ligeramente positivo de  $-21.7 \pm 2.8$  mV a  $+7.1 \pm 2.3$  mV) y en su tamaño de partícula ( $184.4 \pm 7.9$  nm a  $211.9 \pm 14.04$  nm). Sin embargo, estos cambios fueron mayormente significativos en las NP recubiertas con QS no irradiado (potencial Z =  $+54.0 \pm 1.43$  mV; tamaño =  $348.1 \pm 16.44$  nm). Nuestros hallazgos revelaron

que las NP-PLGA-QS $\gamma$  exhibieron un grado de recaptación neuronal comparable a las NP-PLGA-QS (sin diferencias significativas) pero con menor citotoxicidad. Esta reducción en la citotoxicidad podría atribuirse parcialmente a su potencial Z ligeramente positivo generado por el recubrimiento con QS $\gamma$ . Además, las NP recubiertas con QS $\gamma$  mostraron una internalización reducida en el núcleo celular, lo que sugiere un menor riesgo de alterar la integridad nuclear y del ADN. En consecuencia, es factible proponer NP recubiertas con PLGA funcionalizadas con QS $\gamma$  como posibles vehículos para la administración de fármacos en el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas. Estas aplicaciones exigen sistemas seguros y eficaces que preserven la integridad estructural y funcional de la barrera hematoencefálica y otras estructuras neuronales críticas.

*Palabras clave:* nanopartículas, polímeros, quitosano, rayos gamma, neuronas.

## Bio-BaseGd Non-Isocyanate Polyhydroxyurethanes from Soybean Oil for Biomedical Applications Such as Wound Dressings

*María Paula Morales González, Luis Eduardo Díaz Barrera, Manuel Fernando Valero Valdivieso*

Universidad de La Sabana  
mariamorgon@unisabana.edu.co, luisdb@unisabana.edu.co,  
manuelv@unisabana.edu.co

### Resumen

Globally, it has been reported that the prevalence of chronic and/or non-healing wounds is increasing, estimating that, in developed countries, between 1 and 2% of the population will suffer a chronic wound in their lifetime, with this percentage being higher for underdeveloped countries. Therefore, the use

of biomaterials as wound dressings remains necessary and the search for biomaterials to generate suitable wound dressings continues to increase. Currently, in biomedical applications, polyurethanes have gained importance due to their high biocompatible properties and versatility in mechanical, thermal and physicochemical properties. However, only 0.1% of the polyurethanes produced come from renewable sources. Thus, the substitution of monomers and processes derived from petrochemical sources is crucial for the development of biomaterials. Therefore, polyhydroxyurethanes are a promising alternative in various fields of industry due to their synthesis route that allows the incorporation of bio-based monomers from renewable sources such as vegetable oils, the substitution of isocyanates known for their high toxicity, carcinogenicity and petrochemical origin, and the use of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) for the formation of cyclocarbonates. These materials can be formed from the aminolysis of cyclocarbonates with diamines. Based on this, polyhydroxyurethanes were obtained from the chemical modification of soybean oil to generate cyclocarbonates (epoxidation and carbonation) and two diamines, an aliphatic one: 1,4 butadiamine (putrescine), and a cyclo aliphatic one: 1,3-cyclohexanobis(methylamine) (CHM). They were characterized physicochemically, dynamomechanically and thermally and their biocompatibility was evaluated with different cell lines such as human dermal fibroblasts (HDFa) and human keratocyte cells (HaCaT). New formulations of bio-based polyhydroxyurethanes with stability against hydrolytic and oxidative media, thermal stability above 200 °C, tensile strength between 0.9-1.1 MPa, elongation at break between 81 and 222%, a difference that depends on the amount of CHM found in the matrix of the material. And water absorption up to 102 % and contact angle between 63.70 and 101.39. Inhibition zones between 6.25 mm and 7.75 mm, 1.5 and 2.75 mm; and 3.37 mm and 4.5 mm, against *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcus epidermidis*, respectively; and cell viabilities

above 70%. That represents a more sustainable process under the principles of green chemistry, which are not toxic to the cell lines studied and allow achieving the physicochemical, mechanical and thermal properties required for the preparation of wound dressings.

*Palabras clave:* polyhydroxyurethane, non-isocyanate, soybean oil, dressings, wound healing.

---

## Obtención de películas con capacidad antibacteriana de poliuretano a partir de aceite de higuera modificada y extractos bacterianos de *Streptomyces* sp.

*Manuel Fernando Valero Valdivieso, Óscar Tomás Rodríguez Garzón, Luis Eduardo Díaz Barrera*

Universidad de La Sabana  
manuelvv@unisabana.edu.co, oscarrodga@unisabana.edu.co,  
luisdb@unisabana.edu.co

### Resumen

La resistencia a los antimicrobianos es una preocupación latente. La Organización Mundial de la Salud ha declarado que la resistencia a los antimicrobianos es una de las 10 amenazas a la salud pública que enfrenta la sociedad. Uno de los patógenos hospitalarios más relevantes es la bacteria de la especie *Staphylococcus aureus*, dentro de la cual está la variedad resistente a la metilina (SARM). Es necesario hallar alternativas de prevención para la infección por SARM y los biomateriales de poliuretano son una estrategia prometedora. Los poliuretanos son una familia de materiales poliméricos muy versátiles. Se han diseñado biomateriales de poliuretano como apósitos y catéteres. También se pueden desarrollar poliuretanos activos, al incorporar sustancias antibacterianas en su matriz polimérica o al modificar su superficie con esas sustancias. Se

han hallado metabolitos sintetizados por bacterias del género *Streptomyces*, que son una fuente de novedosos antibióticos antibacterianos y antifúngicos. El objetivo de este estudio fue desarrollar poliuretanos tipo película delgada a partir de aceite de higuera modificado por transesterificación con pentaeritritol y extractos antibacterianos de la *Streptomyces* sp. con capacidad antibacteriana contra el SARM por método de modificación de matriz y superficie. Los materiales fueron caracterizados químicamente por FTIR; mecánicamente, por tensión-deformación, y térmicamente, por TGA y DSC. Adicionalmente, se evaluó su capacidad antibacteriana contra SARM; también se evaluó biocompatibilidad y hemocompatibilidad. El FTIR mostró que los extractos no modificaron la estructura polimérica del poliuretano y actuaron como rellenos. Los resultados de los ensayos de tensión-deformación mostraron que la modificación superficial no afectó el desempeño mecánico, pero para la modificación de matriz la tensión se redujo de 1.84 a 1.53 MPa, y la elongación de ruptura, de 142.89 a 80.58 %, debido a que las partículas de relleno generaron puntos de falla. Térmicamente, los polímeros son estables hasta 300 °C. Se desarrolló actividad antibacteriana contra la SARM y la zona de inhibición aumentó hasta 5.5 y 10 mm de diámetro para los polímeros modificados de matriz y superficialmente, respectivamente, al ser portadores de material activo. En conclusión, las películas de poliuretano presentaron actividad; sin embargo, al incorporar las partículas como *fillers*, estas tienen un efecto negativo en el desempeño mecánico del material, debido a la creación de puntos críticos e incompatibilidad termodinámica con la matriz polimérica. Con base en los resultados obtenidos, las películas de poliuretano a partir de aceite de higuera modificado y extractos de *Streptomyces* pueden usarse como biomateriales para la producción de apósitos (*wound dressing*).

*Palabras clave:* poliuretanos, biomateriales, antibacterial.

## Nanodendritas de Ag sobre nanohilos de hidrocincita para detección SERS de rodamina 6G y azul de metileno

*Erick Octavio Santos Santiago, Josué Ismael García  
Ramírez, Irma Yadira Izaguirre Hernández, Pablo  
Thomas Dupont, Yuri Okolodkov, Luis Zamora Peredo*

Universidad Veracruzana

eoss9531@gmail.com, zs21023454@estudiantes.uv.mx, irizaguirre@uv.mx,

pthomas@uv.mx, yuriokolodkov@yahoo.com, luiszamora@uv.mx

### Resumen

Globally, it has been reported that the prevalence of chronic and/or non-healing wounds is increasing, estimating that, in developed countries, between 1 and 2 % of the population will suffer a chronic wound in their lifetime (Järbrink et al., 2016; Kim et al., 2019), with this percentage being higher for underdeveloped countries. Therefore, the use of biomaterials as wound dressings remains necessary and the search for biomaterials to generate suitable wound dressings continues to increase. Currently, in biomedical applications, polyurethanes have gained importance due to their high biocompatible properties and versatility in mechanical, thermal and physicochemical properties. However, only 0.1 % of the polyurethanes produced come from renewable sources (Wendels & Avérous, 2021). Thus, the substitution of monomers and processes derived from petrochemical sources is crucial for the development of biomaterials. Therefore, polyhydroxyurethanes are a promising alternative in various fields of industry due to their synthesis route that allows the incorporation of bio-based monomers from renewable sources such as vegetable oils, the substitution of isocyanates known for their high toxicity, carcinogenicity and petrochemical origin, and the use of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) for the formation of cyclocarbonates. These materials can be formed from the aminolysis of cyclocarbonates with diamines (Carré et al., 2019). Based on this, polyhydroxyurethanes were

obtained from the chemical modification of soybean oil to generate cyclocarbonates (epoxidation and carbonation) and two diamines, an aliphatic one: 1,4 butadiamine (putrescine), and a cyclo aliphatic one: 1,3-cyclohexanobis(methylamine) (CHM). They were characterized physicochemically, dynamomechanically and thermally and their biocompatibility was evaluated with different cell lines such as human dermal fibroblasts (HDFa) and human keratocyte cells (HaCaT). New formulations of bio-based polyhydroxyurethanes with stability against hydrolytic and oxidative media, thermal stability above 200 °C, tensile strength between 0.9-1.1 MPa, elongation at break between 81 and 222 %, a difference that depends on the amount of CHM found in the matrix of the material. And water absorption up to 102 % and contact angle between 63.70 and 101.39. Inhibition zones between 6.25 mm and 7.75 mm, 1.5 and 2.75 mm; and 3.37 mm and 4.5 mm, against *Pseudomona aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcus epidermidis*, respectively; and cell viabilities above 70 %. That represents a more sustainable process under the principles of green chemistry, which are not toxic to the cell lines studied and allow achieving the physicochemical, mechanical and thermal properties required for the preparation of wound dressings.

*Palabras clave:* polyhydroxyurethane, non-isocyanate, soybean oil, dressings, wound healing.

---

## Evaluación del comportamiento reológico de emulsiones magnéticas bajo campos magnéticos rotativos

*<sup>1</sup>Aura Michelle Perdomo Sánchez, <sup>2</sup>María Daniela Contreras Mateus, <sup>1</sup>Ronald Alfonso Mercado Ojeda, <sup>1</sup>Arlex Chaves Guerrero*

<sup>1</sup>Universidad Industrial de Santander, <sup>2</sup>Measuring and Automation Technology, Chair of Magnetofluidynamics, TU Dresden  
aura2248115@correo.uis.edu.co, maria.contreras@tu-dresden.de,  
ramerca@uis.edu.co, achavesg@saber.uis.edu.co

### Resumen

Actualmente, los fluidos magnéticos constituyen un campo de investigación en rápido crecimiento, tanto en interés científico como en el desarrollo de nuevas aplicaciones. El presente estudio evalúa el efecto de la aplicación de campos magnéticos rotativos (CMR) en el comportamiento reológico de fluidos magnéticos no convencionales, específicamente emulsiones magnéticas (microgotas de ferrofluido a base de keroseno dispersas en una fase acuosa), en comparación con el ferrofluido constituyente. Investigaciones previas han demostrado que la aplicación de un CMR puede inducir el flujo de ferrofluidos mediante la acción de torques magnéticos que actúan sobre las nanopartículas, generando su rotación y la difusión de su momento angular al fluido circundante. Para estudiar este fenómeno, se diseñaron experimentos que permiten evaluar el torque sobre las superficies interna y externa de un cilindro hueco de polietileno cuando: 1) está completamente lleno de la emulsión magnética, 2) cuando está rodeado de emulsión magnética y 3) cuando está completamente lleno y rodeado de emulsión magnética. Los resultados muestran la generación del torque que varía con la intensidad, frecuencia y dirección de rotación del CM, y también de la superficie (interna, externa o ambas) sobre la cual se mide. El torque está asociado principalmente a la rotación de las gotas sobre la superficie del cilindro, es decir, a la acción de esfuerzos antisimétricos.

Adicionalmente, usando la técnica de perfiles de velocidad por ultrasonido, se comprobó que el CMR induce el flujo de las emulsiones magnéticas bajo distintas condiciones de frecuencia e intensidad del campo aplicado, similar a los observados en ferrofluidos.

*Palabras clave:* emulsión magnética, magnetorreología, ferrofluido, campos magnéticos rotativos.

---

## Evaluación del efecto de la adición de plastificantes (PEG o PVA) en ácido poliláctico (PLA) para obtención de filamentos de impresión 3D

*Laura Viviana Cuervo Garcés, Óscar Eduardo Rojas Quimbaya,  
Liz Karen Herrera Quintero, Juan Carlos Serrato Bermúdez*

Universidad Nacional de Colombia  
lcuervog@unal.edu.co, oerojasq@unal.edu.co, lkherreraq@unal.edu.co,  
jcserratob@unal.edu.co

### Resumen

En la actualidad, los procesos de manufactura aditiva han evidenciado un crecimiento y se ha introducido el ácido poliláctico (PLA), uno de los materiales más utilizados en el campo de la impresión 3D. Sin embargo, obtener un material óptimo para la impresión, implica añadir hasta un 40% de aditivos en el proceso de extrusión, que pueden llegar a ser perjudiciales para la salud cuando se eliminan durante el proceso de impresión. Por ello, en esta investigación se evaluó la adición de plastificantes como PEG y PVA, que se utilizan en menor proporción a los ya utilizados en la industria, y se tuvo como objetivo generar filamentos de impresión 3D empleando PLA de la marca Nature Works de la serie 2003D y otros aditivos como polímeros de ácido láctico sintetizados a partir del

lactosuero (PLAr), o PGE6000, PEG400 y PVA, como agentes plastificantes. Así mismo, se evaluó la implementación de los agentes plastificantes en aras de mejorar la transformación del PLA en procesos de extrusión para la generación de filamentos. Por lo anterior, se desarrollaron tres tipos de mezclas, donde el PLA 2003D se mantuvo en 80 % p/p y varió el porcentaje en peso del PLAr y los plastificantes, siendo las tres mezclas de (5;15), (7.5;12.5) y (10;10) % p/p, respectivamente. También se resalta que el polímero obtenido se sintetizó a partir del lactosuero (PLAr), un material catalogado como residuo de la industria láctea, mediante vía biotecnológica (fermentación) y química (separación y polimerización por apertura de anillo). El polímero obtenido de esa forma tiene un peso molecular promedio de 87 547.66 g/mol y, además, se caracterizó mediante pruebas de termogravimetría TGA y espectroscopía FTIR. Durante el desarrollo de la investigación se llevaron a cabo mezclas que pretendían incluir PEG6000, PEG400 o PVA. Las mezclas que contaron con mejores resultados fueron las que contenían PLAr-PEG 6000 (5:15 % p/p), puesto que con ellas se sintetizaron filamentos con diámetros relativamente constantes de 1.75 mm y, por lo mismo, se lograron imprimir satisfactoriamente probetas tipo DogBone. La extrusión se logró con un equipo de la marca Filastruder, que permitió fabricar los filamentos de las mezclas. Posteriormente, se realizaron pruebas en la impresora 3D de la marca Creality Ender 3 V1, donde se lograron generar probetas de las mezclas PLA2003D-PLAr-PEG6000, con las cuales hubo mejores resultados. Por último, se realizaron ensayos reológicos en la extrusora y ensayos mecánicos de tensión en una máquina de ensayos universales de la marca Shimadzu, tanto para las probetas impresas como a los filamentos, y se determinó que las probetas impresas con la mezcla PLA2003D-PLAr-PEG6000 (80;5;15 %p/p) fallaron de la misma forma que las probetas con filamento de PLA comercial. Por lo tanto, la fabricación de filamentos imprimibles a partir de mezclas

de PLA2003D-PLAr-PEG6000 es factible y puede incluso reducir la inclusión de aditivos convencionales.

*Palabras clave:* ácido poliláctico, manufactura aditiva, impresión 3D, polietilenglicol, alcohol polivinílico.

## Síntesis y caracterización teórico-experimental de un nuevo complejo de coordinación Ni(II) con actividad antibacteriana

*Ximena Verónica Jaramillo Fierro, Silvia González*

Universidad Técnica Particular de Loja  
xvjaramillo@utpl.edu.ec, sgonzalez@utpl.edu.ec

### Resumen

El presente trabajo describe la síntesis, caracterización y cálculos teóricos de un nuevo complejo de coordinación de Ni(II) con tiantreno, denominado TNia. Este complejo se sintetizó mediante el método de sedimentación lenta a temperatura ambiente utilizando acetato de níquel tetrahidratado y tiantreno como ligantes, y N,N-dimetilformamida (DMF) como solvente. El rendimiento de la reacción fue del 74 %. La caracterización estructural se realizó mediante diversas técnicas instrumentales: difracción de rayos X (DRX), microscopía electrónica de barrido (SEM) con análisis de energía dispersiva de rayos X (EDX), espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), análisis termogravimétrico (TGA-DSC) y espectroscopía UV-Visible. Los resultados obtenidos se complementaron con cálculos teóricos mediante la teoría del funcional de la densidad (DFT), utilizando el *software* Gaussian16® y el funcional híbrido UB3LYP con el conjunto de bases Alhrich-TZV. También se realizaron cálculos TDDFT para obtener energías de excitación verticales

y se determinó el potencial electrostático molecular (MEP) y el análisis de orbitales moleculares frontera (HOMO-LUMO). El análisis DRX mostró la presencia de fases cristalinas y amorfas; mientras que las imágenes SEM revelaron una morfología laminar con partículas aglomeradas. El espectro EDX confirmó la presencia de níquel, azufre, carbono y oxígeno en la muestra. La espectroscopía FTIR evidenció la coordinación de tiantreno con níquel a través de bandas características de estiramiento  $\nu(\text{Ni-S})$  y  $\nu(\text{Ni-O})$ . El espectro UV-Vis mostró transiciones electrónicas típicas de complejos de Ni(II) y se calculó un coeficiente de extinción molar de  $22\,135.77\text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ . El análisis TGA-DSC indicó múltiples etapas de pérdida de masa, atribuidas a la eliminación de solventes y la descomposición de ligantes, alcanzando estabilidad térmica a temperaturas cercanas a  $500\text{ }^\circ\text{C}$ . Los cálculos teóricos mostraron buena concordancia con los datos experimentales, con un coeficiente de correlación de 0.9927 para las frecuencias vibracionales. Además, se determinó una geometría pseudoplanar cuadrada para el complejo, con un índice geométrico  $\tau_4$  de 0.011. El análisis HOMO-LUMO reveló un valor de 2.4607 eV para la brecha de energía, lo cual sugiere interacciones de transferencia de carga dentro de la molécula. En términos de actividad antimicrobiana, el complejo mostró una alta efectividad, inactivando el 85 % de *Staphylococcus aureus* y el 70 % de *Escherichia coli*. En conclusión, la síntesis y caracterización del complejo de coordinación TNi<sub>2</sub> fueron exitosas, y los cálculos teóricos permitieron corroborar la estructura propuesta. Este complejo presenta propiedades antimicrobianas prometedoras, lo cual sugiere posibles aplicaciones en el desarrollo de nuevos materiales con propiedades biológicas mejoradas.

*Palabras clave:* complejo de coordinación, acetato de níquel, tiantreno, cálculos con la teoría del funcional de la densidad.

---

## Evaluación de un sustrato SERS basado en nanoestrellas de plata depositadas sobre nanohilos de óxido de zinc

*<sup>1</sup>Diana Jiménez Girón, <sup>1</sup>Erick Octavio Santos  
Santiago, <sup>1</sup>José Luis Zamora Navarro, <sup>1</sup>Marcos Luna  
Cervantes, <sup>2</sup>Yuri Okolodkov, <sup>1</sup>Luis Zamora Peredo*

<sup>1</sup>Centro de investigación en Micro y Nanotecnología, <sup>2</sup>Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías Universidad Veracruzana  
dianajmz14@hotmail.com, zs22024503@estudiantes.uv.mx,  
zs24025136@estudiantes.uv.mx, marcoslc@ens.cnyu.unam.mx,  
yuriokolodkov@yahoo.com, luiszamoraperedo@uv.mx

### Resumen

La espectroscopía Raman mejorada por superficie (SERS) es una técnica analítica empleada para detectar analitos químicos y biológicos a concentraciones nanomolares, mediante el empleo de sustratos nanoestructurados metálicos. Los sustratos de nanohilos de óxido de zinc han sido ampliamente utilizados para el depósito de nanoestructuras metálicas, debido a su alta relación superficie-volumen, lo que favorece la adsorción de moléculas analíticas. Las nanopartículas metálicas generan el efecto SERS, gracias a su respuesta plasmónica, que induce campos electromagnéticos intensificados en su superficie y favorece la transferencia de carga entre las nanoestructuras y la molécula que se desea detectar. En este trabajo de investigación se fabricó un sustrato SERS basado en el depósito de nanoestrellas de plata sobre nanohilos de óxido de zinc. Estos últimos se sintetizaron mediante la anodización electroquímica, empleando un electrolito de bicarbonato de potasio a voltaje constante. Las nanoestrellas de plata sintetizadas previamente se depositaron con un goteo controlado para regular la distribución sobre los nanohilos. A través de micrografías obtenidas con microscopía electrónica de barrido se analizó la morfología, la alineación y la homogeneidad del sustrato obtenido, además de la distribución superficial y aglomeración de las nanoestrellas de plata sobre los nanohilos.

Posteriormente, se evaluaron los sustratos, a través de SERS, analizando moléculas de prueba, como el azul de metileno, cristal violeta y ácido 3-mercaptopropiónico, y evaluando hasta una concentración de 100 nM y comparando la intensidad de la banda característica de cada molécula respecto al intervalo de la concentración. El sistema obtenido presenta resultados viables a un menor costo en relación con otros métodos de síntesis u otros materiales empleados comúnmente en técnicas de espectroscopía.

*Palabras clave:* nanohilos, óxido de zinc, nanoestrellas de plata, azul de metileno, SERS.

---

## Síntesis de nanoporos y nanohilos de alúmina anódica para sustratos SERS

*Arlette Moreno López, José Luis Zamora Navarro, Josué Ismael García Ramírez, Daniela González Zarate, Julián Hernández Torres, Luis Zamora Peredo*

Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología, Universidad Veracruzana  
zS23000117@estudiantes.uv.mx, zS22000081@estudiantes.uv.mx,  
zS21023454@estudiantes.uv.mx, zS22000083@estudiantes.uv.mx,  
julihernandez@uv.mx, luiszamora@uv.mx

### Resumen

La anodización del aluminio es una técnica electroquímica que se ha investigado ampliamente para la formación de capas de óxido, pues con ella se generan superficies nanoestructuradas, como los nanoporos y los nanohilos de óxido de aluminio. Ello ofrece una superficie para el depósito de nanoestructuras metálicas, al formarse un sustrato con propiedades plasmónicas favorables para su uso en la espectroscopía Raman. La técnica de la espectroscopía Raman mejorada por superficie (SERS, por sus siglas en inglés) se destaca por la amplificación

de la señal Raman, debido al cambio en el campo electromagnético de las nanoestructuras metálicas. Ello aumenta la sensibilidad y capacidad de reconocimiento espectral de moléculas a bajas concentraciones. En este trabajo se evaluó la influencia del tiempo de anodización, que varió de 5 a 60 min, en la intensidad SERS del azul de metileno; además, se sintetizó alúmina anódica nanoporosa, por medio de un ajuste controlado de parámetros estructurales, como el tamaño y la distribución de poros, a través de la selección adecuada de variables determinantes, como el voltaje, el electrolito, el electropulido y el tiempo de anodizado. El estudio de la morfología y la homogeneidad de los nanoporos y los nanohilos de óxido de aluminio se llevó a cabo con microscopía electrónica de barrido (SEM). Los sustratos SERS se evaluaron utilizando como molécula de prueba el azul de metileno a una concentración de  $1 \times 10^{-6}$  M, con el objetivo de analizar el impacto de las nanoestructuras de óxido de aluminio sobre la respuesta Raman. En esta evaluación se comparó la intensidad del modo característico a  $1627 \text{ cm}^{-1}$ , además de la correlación con los resultados obtenidos en las micrografías SEM. Este método de síntesis ofrece una alternativa económica y escalable en contraste con otras técnicas utilizadas para la fabricación de sustratos SERS.

*Palabras clave:* SERS, anodización, alúmina anódica nanoporosa, nanoporos, nanohilos.

---

## Síntesis de ácido poliláctico a partir de almidón de cáscara de papa: una alternativa sostenible a los polímeros convencionales

*Michelle Vanessa Rodríguez Beltrán, Nayeth Sofía Caldas*

*Ramírez, Joan Manuel Beltrán Leroy, María Paula*

*Díaz Castillo, Édgar Mauricio Vargas Solano*

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

michellev.rodriguez@utadeo.edu.co, nayeths.caldas@utadeo.edu.co,

joan.beltranl@utadeo.edu.co, mdiazcas@unal.edu.co

### Resumen

La producción sostenible de ácido poliláctico (PLA) ha cobrado gran relevancia, debido a la creciente necesidad de materiales biodegradables y de bajo impacto ambiental. En este contexto, el presente trabajo aborda la problemática de la dependencia de polímeros sintéticos derivados del petróleo y propone una alternativa viable basada en el PLA, un polímero biodegradable obtenido a partir de fuentes renovables como el almidón de maíz. Sin embargo, la eficiencia en su síntesis y las propiedades finales del material dependen de diversos factores que han sido objeto de estudio en la última década. La urgencia de desarrollar materiales poliméricos sostenibles que reduzcan la contaminación ambiental sin comprometer sus propiedades mecánicas y térmicas ha impulsado esta investigación. La creciente regulación internacional sobre plásticos de un solo uso ha incentivado el estudio de biopolímeros, situando al PLA como una de las soluciones más prometedoras, debido a su biodegradabilidad, biocompatibilidad y versatilidad en aplicaciones industriales. A pesar de estos avances, persisten desafíos en su producción a gran escala, especialmente en la optimización de su síntesis y el control de sus propiedades fisicoquímicas. Múltiples enfoques han sido estudiados para mejorar la producción del PLA, desde

el uso de catalizadores más eficientes hasta la modificación de las condiciones de polimerización para obtener materiales con mejores propiedades. Estudios recientes han explorado la influencia de diferentes rutas de síntesis, destacando la polimerización por apertura de anillo como el método más eficiente para la obtención del PLA con alta pureza y peso molecular adecuado. Este estudio busca optimizar el proceso de producción del PLA a partir de almidón extraído de cáscara de papa mediante un diseño experimental que evaluó las condiciones óptimas de polimerización, con el fin de mejorar su rendimiento y propiedades mecánicas. Para ello, se han analizado parámetros clave como la temperatura, la concentración de catalizadores y el tiempo de reacción, con el propósito de maximizar la conversión de monómeros y minimizar la formación de subproductos indeseados. Los resultados obtenidos evidenciaron una conversión eficiente del monómero en polímero, confirmada mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), donde se identificaron las bandas características del PLA. Esto indica con que el proceso de síntesis se obtuvo el polímero esperado. Además, el ajuste de los parámetros de reacción mejoró el desempeño del proceso, y para optimizar la estructura del biopolímero, se incorporó un refuerzo con almidón de maíz y glicerina, lo que contribuyó a mejorar sus propiedades. Estos hallazgos respaldan la viabilidad del método propuesto y su potencial aplicación en la producción de biopolímeros para la industria sostenible. La optimización del proceso de producción del PLA representa un avance significativo en la fabricación de biopolímeros sostenibles, ofreciendo una alternativa eficiente y escalable frente a los polímeros convencionales. Este estudio aporta conocimiento clave para el desarrollo de materiales biodegradables de alto desempeño, alineados con las tendencias globales de sostenibilidad y economía circular, al consolidar

el PLA como un actor fundamental en la transición hacia una industria más ecológica.

*Palabras clave:* PLA, biopolímero, producción sostenible, diseño de procesos, materiales.

## Depósito de nanoestrellas de plata sobre nanohilos de óxido de cobre(II) para detección SERS de colorantes orgánicos persistentes

*José Luis Zamora Navarro, Daniela González Zárate, Pablo Thomas Dupont, Yuri Okolodkov, Luis Zamora Peredo*

Universidad Veracruzana  
joseluis\_zamora10@hotmail.com, dani11.98@hotmail.com,  
pthomas@uv.mx, yokolodkov@uv.mx, luiszamora@uv.mx

### Resumen

Las nanoestructuras metálicas con morfologías ramificadas han despertado gran interés en la investigación científica, por su capacidad para desarrollar el efecto de espectroscopia Raman mejorada por superficie (SERS, por sus siglas en inglés). Este fenómeno se debe a la concentración de cargas en las puntas de la nanoestructura, lo que genera un campo electromagnético localizado y permite una amplificación significativa de la señal Raman del analito en estudio. La eficiencia de la SERS no solo depende de la morfología de la nanoestructura, sino del sustrato sobre el cual se deposita. La combinación de una nanoestructura metálica con un sustrato optimizado puede mejorar propiedades clave, como la homogeneidad y la distribución de las nanopartículas, lo que a su vez facilita la aparición de *hot-spots*. Estos puntos de intensificación del campo electromagnético son regiones donde la señal Raman se ve fuertemente amplificada y que detectan analitos en concentraciones nanomolares. En este

contexto, las nanoestrellas de plata han surgido como una de las configuraciones más prometedoras para aplicaciones SERS, ya que sus múltiples puntas y alta relación de aspecto favorecen la formación de *hot spots* y mejoran la sensibilidad espectral. En este trabajo se fabricaron sustratos SERS a partir de nanoestrellas de plata, las cuales se sintetizaron con nitrato de plata, ácido ascórbico y polivinilpirrolidona como precursores. Las nanoestrellas se depositaron sobre dos tipos de sustratos: una lámina de cobre y un sustrato nanoestructurado compuesto por nanohilos de hidróxido de cobre(II), con el objetivo de comparar el impacto de la nanoestructuración del sustrato en la mejora del efecto SERS. La homogeneidad y dispersión de las nanoestrellas sobre los nanohilos se evaluó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM); mientras que el desempeño de los sustratos SERS se analizó mediante la detección Raman de colorantes orgánicos persistentes. A partir de la comparación entre las micrografías obtenidas y las intensidades SERS registradas, se determinó el impacto de la distribución y homogeneidad de las nanoestrellas en el sustrato, así como el factor de mejora máximo alcanzado.

*Palabras clave:* nanoestrellas de plata, nanohilos, sustrato SERS, detección, colorantes orgánicos.

---

## Antiviral and Antibacterial Film based on Quaternized Cassava Starch and Reinforced Crystalline Nanocellulose

*Guilherme Ribeiro de Carvalho, Camila Delarmelina, Marta Cristina Teixeira Duarte, Liliane Maria Ferrareso Lona*

University of Campinas  
gr.carvalho@yahoo.com.br, cdelarm@cpqba.unicamp.br,  
mduarte@cpqba.unicamp.br, lona@unicamp.br

### Resumen

Plastic surfaces contaminated by pathogens, such as viruses and bacteria, are transmission vectors in hospital environments and food packaging. SARS-CoV-2, for example, can remain active for up to 72 h on these materials, highlighting the need to develop plastics with antimicrobial properties to reduce the spread of infectious agents. However, the polymers traditionally used in the production of plastic films do not have antiviral or antibacterial activity. A promising alternative to confer this functionality to plastic materials is incorporating quaternary ammonium compounds, known for their antimicrobial action. These compounds are cationic surfactants whose chemical structure, characterized by a positively charged nitrogen atom linked to four substituent groups, allows electrostatic interactions with the cell membranes of microorganisms, resulting in membrane rupture and inactivation of the pathogen. Combining quaternary ammonium compounds with biodegradable polymers is an efficient strategy for developing plastic materials with antimicrobial activity. In addition to protecting against microorganisms, this approach enables the production of sustainable plastic films, especially for hospital applications and food packaging, where disposal after use is necessary due to the high risk of contamination. In this context, this study explores the chemical modification of cassava starch (CS) to give it antimicrobial properties, aiming at its application in biodegradable plastic films. Starch, widely available in several

plant sources, stands out for its versatility and cost-effectiveness and is widely used in industrial applications. However, its physical-chemical characteristics limit its performance in some applications, which has motivated research into its structural modification. Among the main processes explored for this purpose, carboxymethylation, oxidation, phosphorylation, esterification, ozonation, and acetylation stand out, and they have shown effectiveness in improving their properties. In this study, CS modification was performed through quaternization with glycidyltrimethylammonium chloride (GTMAC), an efficient method for introducing quaternary groups into the biopolymer structure, conferring antimicrobial properties. The characterization of quaternized starch (Q-CS) was conducted using techniques such as elemental analysis, FTIR, NMR, and TGA, confirming the successful modification and its significant antimicrobial activity against *E. coli* and *S. aureus*, with minimum inhibitory concentrations (MIC) of  $0.156 \text{ mg mL}^{-1}$  and  $0.312 \text{ mg mL}^{-1}$ , respectively. Furthermore, Q-CS demonstrated a 99% inactivation rate of the coronavirus after only 1 minute of contact, highlighting its potential for antiviral applications. To enhance its mechanical properties and expand its applications, Q-CS was combined with crystalline nanocellulose (CNC), developing an antimicrobial plastic film (QCS/CNC). Compared to the control film without CNC, QCS/CNC showed significant improvements in tensile strength (43.6%) and stiffness (109.8%), although it exhibited a slight reduction in thermal stability. In addition, the QCS/CNC film maintained its high antimicrobial efficacy, inactivating 99% of the coronavirus and inhibiting the growth of pathogenic bacteria such as *S. aureus* and *E. coli*. Therefore, this study not only expands the knowledge on the chemical modification of CS to confer antimicrobial properties but also highlights the potential of the QCS/CNC film as a promising

alternative for applications requiring biodegradable materials capable of combating pathogens.

*Palabras clave:* cassava starch, GTMAC, film, antiviral, antibacterial.

## Desarrollo de nanopartículas biopoliméricas de $\alpha$ -mangostina con modificación superficial como posible tratamiento en el cáncer de mama

<sup>1</sup>Héctor Adrián García Gasca, <sup>2</sup>Janice García Quiroz, <sup>1</sup>Francisco Javier Camacho Arroyo, <sup>3</sup>Hernán Cortés Callejas, <sup>1</sup>Gerardo Leyva Gómez

<sup>1</sup>Departamento de Farmacología, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, <sup>2</sup>Departamento de Biología de la Reproducción Dr. Carlos Gual Castro, del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, <sup>3</sup>Laboratorio de Medicina Genómica, Departamento de Genómica, Instituto Nacional de Rehabilitación  
hector.garcia@cinvestav.mx, janicegarciaq@gmail.com, fcamacho@cinvestav.mx, hcortes\_c@hotmail.com, leyva@quimica.unam.mx

### Resumen

El cáncer de mama (CM) es el tipo de cáncer más diagnosticado y la principal causa de muerte por cáncer en mujeres en todo el mundo. Si bien los tratamientos convencionales han mostrado eficacia, suelen asociarse con efectos secundarios severos. En este contexto, el uso de compuestos naturales ha surgido como una alternativa terapéutica prometedora. La  $\alpha$ -mangostina (AM), una xantona derivada del fruto mangostán (*Garcinia mangostana* L.), ha demostrado actividad antineoplásica frente a varios tipos de cáncer, incluido el CM. No obstante, su baja solubilidad en agua limita considerablemente su absorción y biodisponibilidad tras la administración oral. Para superar esta limitación, se han desarrollado nanopartículas (NP) que emplean polímeros biodegradables como el poliácido láctico-co-glicólico

(PLGA) y el quitosano. Estas NP mejoran la estabilidad, protegen el fármaco y facilitan su liberación controlada. Además, la modificación superficial de las NP, mediante recubrimientos funcionales, potencia su estabilidad en medios biológicos, favorece la interacción con membranas celulares e incluso puede dirigirlas hacia células específicas. Sin embargo, el uso de quitosano de alto peso molecular como recubrimiento puede provocar un aumento significativo del tamaño de partícula y baja reproducibilidad en la síntesis. En cambio, el quitosano irradiado con rayos gamma (QS) presenta menor peso molecular, mayor solubilidad y mejores propiedades funcionales, lo que lo convierte en una mejor alternativa como recubrimiento. Por otro lado, el poloxámero 188 (PLX) actúa como inhibidor de la glicoproteína P, una proteína implicada en la expulsión de fármacos y en la resistencia a múltiples medicamentos, ayudando así a mejorar la distribución y la biodisponibilidad de compuestos activos. En este trabajo se propone encapsular la AM en NP de PLGA y recubrirlas con QS y PLX, con el objetivo de mejorar la absorción intestinal y potenciar su efecto antineoplásico contra el CM. Las NP se sintetizaron con nanoprecipitación y se caracterizaron fisicoquímicamente mediante dispersión de luz dinámica y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), además de determinar su eficiencia de encapsulación (EE %). Las NP base de PLGA mostraron un tamaño promedio de  $203.9 \pm 4.87$  nm y un PDI de  $0.086 \pm 0.03$ , lo cual indica una distribución homogénea de tamaño, y un PZ de  $-22.25 \pm 1.60$  mV. Al incorporar la AM, se obtuvo una EE % de  $37.9 \pm 4.35$  %, sin cambios significativos en el tamaño, el PDI ni el potencial zeta. El recubrimiento con QS- $\gamma$  y PLX provocó un incremento moderado en el tamaño ( $221.5 \pm 4.35$  nm) y un cambio notable en la carga superficial ( $+2.19 \pm 0.092$  mV). El PDI se mantuvo estable ( $0.079 \pm 0.025$ ) e indica que la dispersión de tamaño no se vio afectada por el recubrimiento. Los resultados de FTIR

confirmaron la presencia de todos los componentes (PLGA, AM, QS y PLX) en la formulación final y no evidenciaron la formación de nuevos enlaces químicos, según lo cual las interacciones son de tipo físico. En conjunto, estos resultados sugieren que esta formulación podría ser probada para mejorar la absorción intestinal de la AM y potenciar su actividad antineoplásica en el tratamiento del cáncer de mama CM.

*Palabras clave:* nanopartículas, PLGA,  $\alpha$ -mangostina, quitosano irradiado, poloxámero 188.

## Desarrollo y evaluación de nanoacarreadores cargados con nilotinib para padecimientos neurodegenerativos

<sup>1</sup>Nancy Lizbeth Rodríguez Morales, <sup>2</sup>Benjamín Florán Garduño, <sup>3</sup>Hernán Cortés Callejas, <sup>4</sup>Gerardo Leyva Gómez

<sup>1</sup>Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, <sup>2</sup>Departamento de Farmacología, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, <sup>3</sup>Instituto Nacional de Rehabilitación “Luis Guillermo Ibarra Ibarra”, <sup>4</sup>Departamento de Farmacia, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México  
nancy.rodriguez@cinvestav.mx, benjamin.floran@cinvestav.mx,  
hcortes@inr.gob.mx, leyva@quimica.unam.mx

### Resumen

Las enfermedades neurodegenerativas son un grupo de trastornos que afectan el sistema nervioso central y el sistema nervioso periférico. Estas enfermedades representan la causa más común de mortalidad, morbilidad y deterioro cognitivo entre los adultos mayores y se caracterizan por la pérdida progresiva de neuronas y la acumulación de proteínas anormales, lo que afecta la función motora y cognitiva de quienes las padecen. La enfermedad de Parkinson (EP), por ejemplo, es el segundo trastorno neurodegenerativo de mayor prevalencia,

cuyo tratamiento principal consiste en la administración de levodopa y otros fármacos centrados en tratar los síntomas, pero no en detener la progresión de la enfermedad. El nilotinib, un inhibidor de tirosina cinasa, usado como tratamiento para la leucemia mieloide crónica, ha mostrado potencial para ser reposicionado como tratamiento para la EP, al ser capaz de inhibir a c-Abl, una tirosina cinasa, cuya desregulación está asociada a procesos biológicos que derivan en la pérdida de neuronas dopaminérgicas. Sin embargo, su baja solubilidad limita su biodisponibilidad, lo que reduce su eficacia. Este proyecto se centra en la encapsulación de nilotinib en nanopartículas de ácido poliláctico-co-glicólico (PLGA), mediante nanoprecipitación, una técnica accesible y reproducible con la cual se obtienen partículas de un tamaño homogéneo y una alta eficiencia de entrapamiento. Se caracterizaron el tamaño, el índice de polidispersión (PDI), el potencial Z y la cinética de liberación del fármaco de las nanopartículas obtenidas. El uso de nanopartículas de PLGA mejora la solubilidad y biodisponibilidad del nilotinib. Los resultados confirman la presencia de PLGA, PVA y nilotinib en las nanopartículas sintetizadas. La caracterización con dispersión de luz dinámica mostró que las nanopartículas presentan un tamaño adecuado ( $205.6 \pm 4.8$ ), un bajo PDI ( $0.177 \pm 0.055$ ) y un potencial Z favorable ( $-13.8 \pm 0.25$ ). Además, se obtuvo una eficiencia de encapsulación superior al 70 % y una cinética de liberación controlada. Estos resultados sugieren que las nanopartículas tienen características fisicoquímicas con el potencial de ser utilizadas como vectores de fármacos dirigidos al cerebro y mejorar la eficacia terapéutica del nilotinib.

*Palabras clave:* nanopartículas, nilotinib, PLGA, Parkinson, reposicionamiento de fármacos.

---

## Hidrogeles inyectables y autorreparables con posible aplicación en el tratamiento de heridas crónicas

Lorena Duarte Peña, Gerardo Leyva-Gómez, Sheila

I. Peña-Corona, Benjamín Leal Acevedo

Universidad Nacional Autónoma de México

lorena.du.pe@gmail.com, leyva@quimica.unam.mx, sheilairaispc@gmail.com, benjamin.leal@nucleares.unam.mx

### Resumen

Las heridas crónicas representan un gran desafío clínico y requieren materiales innovadores que promuevan la cicatrización y prevengan infecciones. Este estudio presenta hidrogeles inyectables, autorreparables y antimicrobianos para mejorar el tratamiento de heridas crónicas. La capacidad de autorreparación permite que el material se reestructure en respuesta a un estímulo externo, como la fuerza de inyección, y provoque un colapso estructural temporal, seguido de la regeneración en la zona objetivo, una característica beneficiosa para el tratamiento de heridas con geometrías complejas. Los hidrogeles se sintetizaron mediante una combinación estratégica de modulación de pH y ciclos de congelación-descongelación a  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , logrando una reticulación física que formó redes dinámicas de colágeno-quitosano con capacidad de autorreparación. Además, se incorporaron pequeñas proporciones de alcohol polivinílico a los hidrogeles CG/CS para mejorar sus propiedades reológicas y térmicas. Los materiales resultantes exhibieron un comportamiento viscoelástico y pseudoplástico, con una recuperación de propiedades del 83 % en 3 min tras la deformación y fuerzas de inyección inferiores a 40 N, lo que garantiza su fácil manejo. Además de sus ventajas mecánicas, los hidrogeles demostraron una potente actividad antimicrobiana contra *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* y *Candida albicans*, patógenos clave en las infecciones de heridas. Su biocompatibilidad se evaluó mediante un ensayo

de irritación cutánea primaria en 14 voluntarios usando una prueba epicutánea abierta de una sola aplicación. Los hidrogeles mostraron baja irritabilidad, buena tolerancia y la capacidad de hidratar y refrescar la piel. Estos resultados resaltan el potencial de estos materiales como apósitos para el tratamiento de heridas crónicas.

*Palabras clave:* hidrogel, autorreparable, heridas crónicas, quitosano, colágeno, PVA.

## Evaluación *in vivo* del efecto terapéutico de las micropartículas cargadas con insulina en un modelo experimental de rata Wistar

<sup>1</sup>Sheila Irais Peña Corona, <sup>1</sup>Juan Isaac Chávez Corona,  
<sup>1</sup>Andrea Gisela Tinajero Lozada, <sup>1</sup>Hernán Cortés Callejas,  
<sup>1</sup>Gerardo Leyva Gómez, <sup>2</sup>David Quintanar Guerrero

<sup>1</sup>Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México,

<sup>2</sup>Laboratorio de Investigación y Posgrado en Tecnología Farmacéutica,

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México

sheilairaispc@gmail.com, juan.isaac.chavez@gmail.com,

tinajeroandrea317@gmail.com,

hcortes\_c@hotmail.com, leyva@quimica.unam.mx, quintana@unam.mx

### Resumen

La diabetes mellitus (DM) es un grupo de trastornos metabólicos caracterizados por hiperglucemia crónica, debido a la secreción alterada de insulina o a su función afectada. Su progresión conduce a disfunciones multiorgánicas que afectan los ojos, los riñones, el sistema nervioso y el sistema cardiovascular. La DM se clasifica en tipo 1 (T1DM), que es causada por la destrucción autoinmune de los islotes pancreáticos, y en tipo 2 (T2DM), que se origina por la resistencia a la insulina y la secreción compensatoria inadecuada. Dada su prevalencia global, son necesarias estrategias terapéuticas

innovadoras. Los sistemas de liberación de insulina basados en nanotecnología ofrecen alternativas prometedoras para mejorar el control glucémico y los resultados clínicos de los pacientes. El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficacia normoglucémica e hipoglucémica de las nanopartículas cargadas con insulina administradas por vía oral en ratas Wistar mediante análisis de sangre. Las nanopartículas cargadas con insulina se sintetizaron con gelificación ionotrópica utilizando quitosano de bajo peso molecular, tripolifosfato de sodio (TPP), ácido acético, polisorbato 80 (P80), insulina humana (Aurax®) y Eudragit L100-55® como recubrimiento entérico. El estudio se realizó en ratas Wistar machos sanas (400 g, 4 meses de edad), divididas en un grupo de tratamiento (n = 4), que recibió la formulación entérico-coat vía administración forzada oral, por medio de una cánula gástrica de acero inoxidable de 1.6 mm, y un grupo control (n = 4). Se midieron las concentraciones de glucosa sanguínea a partir de muestras tomadas del extremo de la cola antes y después de un bolo de glucosa de 2 g/kg a los 0 (valor basal), 15, 30, 45, 60, 90 y 120 min utilizando un glucómetro. Los experimentos *in vivo* demostraron una reducción significativa de la glucosa plasmática en el grupo de tratamiento dentro de los 30 min posteriores a la administración oral en comparación con el grupo control. Estos hallazgos subrayan el potencial de los sistemas de liberación de insulina basados en nanopartículas para mejorar el manejo de la DM y la eficacia terapéutica.

*Palabras clave:* diabetes mellitus, nanopartículas, insulina, administración oral, control glicémico.

---

## Desarrollo de un biopolímero a partir de almidón de ñame en combinación con ceras cuticulares del cáliz de uchuva y cristales de celulosa, con potencial uso en ingeniería de tejidos

<sup>1</sup>Angélica María Cohecha Betancourt, <sup>2</sup>Ana Isabel Ramos Murillo,  
<sup>3</sup>Luis Miguel Serrano Bermúdez, <sup>4</sup>Lilia Carolina Rojas Pérez

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, <sup>2</sup>SafeLab, <sup>3</sup>Instituto de Biotecnología IBUN, <sup>4</sup>Universidad Industrial de Santander  
acohecha@unal.edu.co, airamosmu@unal.edu.co, lmserranob@unal.edu.co,  
carolina.rojas@uis.edu.co

### Resumen

Los materiales biodegradables desempeñan un papel crucial en la ingeniería de los tejidos, porque facilitan la regeneración tisular y eliminan la necesidad de procedimientos para retirar implantes. Su biocompatibilidad y degradación controlada los hacen adecuados para aplicaciones en la reparación de huesos, cartílagos, piel y órganos internos. Los andamios tridimensionales, comúnmente fabricados con proteínas como colágeno y gelatina, o polímeros naturales, como el ácido hialurónico, el quitosano y el almidón, proporcionan soporte mecánico y mejoran la adhesión celular. En este estudio, se desarrolló un nuevo biopolímero biodegradable utilizando almidón de ñame, ceras cuticulares del cáliz de uchuva y cristales de celulosa. El almidón de ñame forma películas y es biocompatible, pero carece de resistencia mecánica y a la humedad. Para superar estas limitaciones, se incorporaron ceras cuticulares con el fin de mejorar la hidrofobicidad y las propiedades antimicrobianas; mientras que los cristales de celulosa actuaron como refuerzos, aumentando la resistencia a la tracción, la elasticidad y la estabilidad estructural. De acuerdo con los resultados, hubo mejoras significativas en las propiedades mecánicas, incluyendo la resistencia a la tracción, rigidez y elasticidad, lo que convierte al biopolímero en un candidato prometedor

para andamios en ingeniería de tejidos. Además, las pruebas antimicrobianas confirmaron el efecto inhibitor de las ceras cuticulares contra el crecimiento microbiano. Estos hallazgos destacan el potencial de este biopolímero para aplicaciones en impresión 3D y la fabricación de andamios biomédicos. Asimismo, el uso de almidón de ñame y cáliz de uchuva revaloriza recursos agrícolas subutilizados, por la sostenibilidad en el desarrollo de biomateriales. Esta formulación de biopolímero se alinea con los avances en biotecnología sanitaria, al optimizar la biocompatibilidad y funcionalidad de los andamios, al tiempo que reduce la dependencia de polímeros sintéticos. Su naturaleza biodegradable asegura que no queden residuos permanentes en el cuerpo y ello contribuyo al desarrollo de biomateriales de nueva generación para aplicaciones médicas. Además, la integración de materiales sostenibles en la fabricación de andamios respalda las tendencias de biofabricación y las tecnologías biomédicas innovadoras en los sectores de la salud y farmacéutico.

*Palabras clave:* biopolímero, ingeniería de tejidos, almidón de ñame, ceras cuticulares, cristales de celulosa, propiedades antimicrobianas.

## Obtención de nanopartículas de celulosa a partir del mesocarpio de la cáscara de coco para el desarrollo de biopelículas

*Yajiko Javier Cisneros Alzamora, Adriana Herrera Barros, Gezira de Ávila Montiel*

Universidad de Cartagena  
ycisnerosa@unicartagena.edu.co, aherrerab2@unicartagena.edu.co,  
gdeavilam@unicartagena.edu.co

### Resumen

La contaminación por plásticos es una de las mayores amenazas ambientales que enfrenta el mundo actualmente. La

sobreproducción de envases plásticos, en su mayoría de un solo uso, genera toneladas de residuos que tardan siglos en degradarse, contaminando océanos y suelos, y afectando la vida silvestre y los ecosistemas. En Colombia, anualmente se estiman 700 500 toneladas generadas de envases y empaques plásticos, de los cuales solo el 30 % se recicla. Dentro de la industria alimentaria es una situación bastante preocupante, ya que es un recurso indispensable para la conservación y distribución. Este estudio se centra en la producción de nanopartículas de celulosa (CNP) a partir de cáscara de coco y su uso en la fabricación de películas biodegradables para el envasado de alimentos. Esta investigación se basa en su importancia medioambiental, económica y social, ya que aborda problemas actuales como la contaminación por plásticos y la mala gestión de los residuos agroindustriales. La cáscara de coco, un residuo muy extendido en Colombia, se revela como una prometedora materia prima para la fabricación de los CNP, facilitando su reciclaje y reduciendo el impacto ambiental asociado a su uso. Además, posee propiedades únicas, como alta resistencia mecánica, biocompatibilidad y biodegradabilidad, aparte de que contribuye a la economía circular y la valorización de residuos. El objetivo principal fue obtener nanopartículas de celulosa a partir del mesocarpio de la cáscara de coco para aplicación en el desarrollo de películas biodegradables para envasado de alimentos, y los objetivos específicos fueron Sintetizar nanopartículas de celulosa a partir del mesocarpio de la cáscara de coco, comparando procesos de hidrólisis ácida asistida por ultrasonido y enzimáticos para la extracción de la celulosa, y caracterizar las nanopartículas de celulosa obtenidas, determinando su tamaño, morfología y cristalinidad. Como resultados de este estudio se espera obtener NPC de alta calidad a partir de la cáscara de coco y desarrollar películas biodegradables con propiedades convenientes para el envasado de alimentos. Se espera que las películas obtenidas sean comparables a los envases plásticos convencionales en términos de resistencia

mecánica, permeabilidad y capacidad de conservación de alimentos.

*Palabras clave:* nanopartículas, películas, celulosa.

## PVD Deposition of Carbon-Doped TiAlTaZrNb High Entropy Coatings for Corrosion Protection of H13 Steel

*Ferley Alejandro Vásquez, Mariana Duarte*

*Rodríguez, Libia María Baena Pérez*

Instituto Tecnológico Metropolitano ITM de Medellín  
libiabaena@itm.edu.co

### Resumen

High-entropy coatings (HECs) exhibit enhanced chemical stability when doped with carbon due to the strong bonding between carbon and transition metals. The most commonly used elements in the fabrication of these HE coatings are transition metals such as Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Ti, V, W, Nb, Ta and Zr. Due to their high chemical stability, HECs are employed to protect component surfaces exposed to severe corrosion conditions. This study investigates the improvement of corrosion resistance through carbon doping via methane flow during the deposition of a TiAlTaZrNb HEC using physical vapor deposition (PVD). The morphology and structure of the coatings were analyzed using scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), and Raman spectroscopy. Corrosion protection and coating resistance were assessed by potentiodynamic polarization and electrochemical impedance spectroscopy. Although the coating thickness was reduced by approximately 34% with methane flow increasing, the coating resistance improved one order of magnitude until reaching the maximum carbon solubility at 9 sccm. This enhancement

was reflected in the corrosion rate reduction from  $8.02 \times 10^{-2}$  mm y<sup>-1</sup> for H13 steel to  $8.00 \times 10^{-4}$  mm y<sup>-1</sup> for HEC-coated steel. However, at higher methane flow rates the carbon precipitation and parallel microcracks formation increases the corrosion rate.

*Palabras clave:* high entropy coating, carbon doped, H13 steel, corrosion resistance, coating stability.

---

## Desarrollo y caracterización de una microemulsión tópica de atorvastatina para la optimización de la cicatrización de heridas

<sup>1</sup>Lizbeth Onofre González, <sup>1</sup>Sheila Irais Peña Corona,  
<sup>2</sup>Dinorah Vargas Estrada, <sup>1</sup>María Isabel Gracia Mora,<sup>3</sup>  
Hernán Cortés Callejas, <sup>1</sup>Gerardo Leyva Gómez

<sup>1</sup>Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, <sup>2</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, <sup>3</sup>Instituto Nacional de Rehabilitación Luis Guillermo Ibarra Ibarra lizog95@gmail.com, sheila.ipc@live.com, dinorahvestrada@fmvz.unam.mx, isabel.gracia@quimica.unam.mx, hcortes\_c@hotmail.com, leyva@quimica.unam.mx

### Resumen

En los últimos años, la necesidad de mejorar las estrategias en el manejo de heridas crónicas ha impulsado la evaluación de nuevas tecnologías de formulación y el reposicionamiento de fármacos. La atorvastatina (ATV) es un fármaco antihiperlipidémico que pertenece al grupo de las estatinas. Además de su efecto reductor de colesterol, presenta efectos pleiotrópicos, como analgésicos, antiinflamatorios, antioxidantes, inmunomoduladores y antimicrobianos. No obstante, este fármaco presenta limitaciones, como su baja solubilidad en

agua, baja biodisponibilidad y la aparición de diversos efectos secundarios. Para mejorar la solubilidad de la ATV, en este estudio se propone el desarrollo de una nueva formulación en microemulsión para la aplicación tópica de este fármaco. La tecnología de las microemulsiones ha encontrado un uso amplio y diverso en la industria farmacéutica, debido a sus múltiples aplicaciones y beneficios. Además, como sistemas nanocarreadores, permiten la administración directa en el sitio de la herida y favorecen la permeación a través de la piel, logrando una liberación sostenida. El objetivo principal de este proyecto fue desarrollar y caracterizar una microemulsión tópica con atorvastatina para favorecer la cicatrización de heridas. Para el proceso de formulación, se llevó a cabo un exhaustivo estudio de solubilidad de atorvastatina en distintos vehículos, como aceites esenciales y surfactantes. Se construyeron diagramas de fases pseudoternarios para diseñar una microemulsión adecuada, utilizando Tween 80 como tensioactivo, PEG 300 como cotensioactivo y aceite de canela como fase oleosa, estableciendo diferentes proporciones de los componentes. La microemulsión seleccionada se cargó con ATV al 0.65 % y se evaluó en cuanto a su apariencia física, su estabilidad y propiedades fisicoquímicas, como el tamaño de glóbulo, potencial Zeta, índice de polidispersidad, conductividad eléctrica, pH, índice de refracción, comportamiento reológico y viscosidad. Los resultados indicaron que el tamaño de glóbulo promedio de la microemulsión optimizada fue de  $14.11 \pm 1.04$  nm, con un índice de polidispersidad de  $0.340 \pm 0.02$ , un potencial Zeta de  $-1.61 \pm 1.51$ , datos obtenidos mediante el método de dispersión dinámica de la luz. En cuanto a sus propiedades reológicas, se obtuvo una viscosidad de 146 cP, el pH obtenido fue de  $6.28 \pm 0.06$  y la conductividad eléctrica registrada fue de  $0.480 \pm 0.0005$ . Los resultados obtenidos revelaron que la formulación propuesta posee buena solubilidad en equilibrio para la ATV y características fisicoquímicas adecuadas

para su uso en la administración tópica, además presenta una estabilidad mejorada.

*Palabras clave:* microemulsión, atorvastatina, reposicionamiento fármacos, heridas, cicatrización.

## Preparation of TiO<sub>2</sub>-CuO Nanoparticles for the Photodegradation of Metformin using a Fluidized Bed Annular Photoreactor (FBAP)

*Ricardo Solano Pizarro, Miguel Ángel*

*Mueses, Adriana Herrera Barros*

Universidad de Cartagena

rsolanop@unicartagena.edu.co, mmueses@unicartagena.edu.co,

aherrerab2@unicartagena.edu.co

### Resumen

This research is focused on the photodegradation of metformin by heterogeneous photocatalysis using TiO<sub>2</sub>-CuO heterojunctions deposited on beach sand granules in a pilot-scale fluidized bed annular photoreactor (FBAP). The precursor metal oxides were prepared by green chemistry using an aqueous extract of *Moringa (Moringa oleifera)* and the heterojunctions by ultrasound-assisted wet impregnation for subsequent immobilization through a two-step immersion/calcination methodology. All materials were characterized by UV-Vis DRS, Photoluminescence (PL), SEM-EDS, HR-TEM-SAED, BET area, Raman spectroscopy, XRD, and XPS techniques. Optical characterization revealed that the CuO incorporation favors light adsorption in the visible spectrum and reduces the band gap energy from 3.14 eV to 1.28 eV. Morphological studies showed that pulverized materials are agglomerated with affinity to high porosity regions of beach sand granules. Also, TiO<sub>2</sub>-CuO heterojunctions exhibited a broader size distribution (15.81 nm ± 7.45 nm) than pure

TiO<sub>2</sub> nanoparticles (10.38 nm ± 1.24 nm). The structural analysis confirmed that pure TiO<sub>2</sub> and CuO nanoparticles are formed exclusively by the anatase and tenorite phases, respectively. Furthermore, batch tests showed a synergistic effect of the inorganic substrate (beach sand granules) due to its inherent adsorption. Besides, TC1 heterojunction (1 wt.% of CuO) represents the best option for deposition due to its optical, morphological, and textural properties and favors its photocatalytic activity. Also, an optimal dose of the active phase of 1.0 g/L was identified, guaranteeing this load for the granular catalyst with 4 wt.% (g of catalyst/g of beach sand). Optimal values of 18.7 L/min achieved a maximum efficiency of 74.8% and 3.0 wt.% for volumetric flow and the TC1/S mass ratio, respectively; these operation parameters significantly influence the degradation efficiency. Further, the reaction rate was slightly higher for powdered samples against immobilized heterojunctions due to the mass transfer limitations, which generated a difference in performance close to 2.7%. These results reveal the potential for treating effluents contaminated with organic compounds using a granular catalyst with stable performance, including a centrifugation step that removes the segregated nanomaterials.

*Palabras clave:* metformin; type-II heterojunction, granular photocatalyst, annular fluidized bed photoreactor.

---

## Rheological Properties of Xanthan Gum, Guar Gum, Cellulose Gum and its Blends with Synergistic Behavior

*María Isabel Hernández Montoya, Fabián Leonardo Ramos Maldonado, Nezia de Rosso, Cezar Negrão*

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
mariaisabelmontoya@alunos.utfpr.edu.br, fabianm@alunos.utfpr.edu.br,  
nezia.rosso@gmail.com, negrao@utfpr.edu.br

### Resumen

Hydrocolloids such as Xanthan Gum (XG), Guar Gum (GG), and Cellulose Gum (CG) are widely used in various industries due to their rheological and stabilizing properties. However, the combination of these biopolymers can lead to synergistic interactions that significantly alter their mechanical behavior. This study aims to analyze the rheological behavior of XG, GG, and CG, as well as their binary (20:80 XG:GG) and ternary (20:60:20 XG:GG:CG) mixtures in aqueous solutions, providing a scientific basis for optimizing their use in various industrial applications. While previous studies have explored hydrocolloid blends, this research builds upon a prior study that identified the strongest synergies in the specific proportions analyzed here. Based on these findings, this study further investigates the rheological characterization of these mixtures and their relationship with the microstructure observed through scanning electron microscopy (SEM). The results indicate that the XG solution exhibits viscoplastic behavior, with a storage modulus ( $G'$ ) higher than the loss modulus ( $G''$ ) over a broad frequency range, suggesting a solid-like response. In contrast, GG and CG solutions behave as pseudoplastic fluids, with  $G''$  exceeding  $G'$  at low frequencies (0.1-10 Hz) and  $G'$  surpassing  $G''$  at higher frequencies (10-100 Hz). Despite the lower proportion of XG in the binary mixture, it maintains viscoplastic behavior, with a lower yield stress compared to the pure XG solution and  $G' > G''$  across the tested frequency

range, also demonstrating a solid-like response. The ternary mixture shows a similar behavior but with a slightly more extended linear viscoelastic region (LVER). The rheological properties of the binary and ternary mixtures deviate from predictions based on the Arrhenius mixture law, confirming the presence of synergistic effects. These findings provide key insights for developing formulations with optimized properties, expanding the understanding of hydrocolloid interactions in aqueous solutions.

*Palabras clave:* hydrocolloids, rheology, synergistic effects, viscoelasticity, gum.

## From Powders to Solutions: Understanding Hydrocolloid Dissolution Kinetics through Rheology

*María Isabel Hernández Montoya, Fabián Leonardo Ramos Maldonado, Nezia de Rosso, Cezar Negrão*

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
mariaisabelmontoya@alunos.utfpr.edu.br, fabianm@alunos.utfpr.edu.br,  
nezia.rosso@gmail.com, negrao@utfpr.edu.br

### Resumen

Hydrocolloids such as xanthan gum, guar gum, cellulose gum, alginates, and carrageenans are widely used additives in various industries, including food, pharmaceuticals, coatings, mineral suspensions, and drilling fluids. Their primary function is to modify viscosity and rheological properties. However, since they are commercially available in powder form, their dissolution in aqueous media often leads to agglomeration, hindering uniform dispersion and affecting their functional performance. The formation of lumps prolongs dissolution times, increasing processing times and, consequently, operational costs across different industries. Given the critical role of hydrocolloids in multiple applications, understanding

their dissolution kinetics in aqueous solutions is essential for optimizing formulation processes and enhancing efficiency. Previous research on solid dissolution, particularly of hydrocolloids, has employed various analytical techniques, including particle size analysis, conductivity measurements, spectrophotometry, refractometry, ultrasonic reflectance, gravimetric methods, optical techniques, and rheological methods based on viscosity measurements at different time intervals. However, the methodology proposed in this study enables continuous monitoring of rheological properties throughout the dissolution process, offering a more detailed insight into the kinetics of hydrocolloid dissolution. In this context, the present study aims to determine the dissolution kinetics of hydrocolloids in aqueous solutions using a rheometric technique based on a vane geometry rheometer. A rheometric technique was applied to aqueous solutions containing 0.55% (w/w) of different hydrocolloids, specifically xanthan gum, guar gum, and cellulose gum. The obtained data allowed the determination of the kinetic dissolution rate constants for each gum, revealing that each exhibits a characteristic dissolution time. The implementation of this technique successfully identified differences in the dissolution behavior of various hydrocolloids, providing an effective method for their study. Further research is required to evaluate the factors influencing hydrocolloid dissolution under different conditions.

*Palabras clave:* hydrocolloids, dissolution kinetics, rheometry, rheological properties, powder processing.

---

## Functional Polyelectrolyte Films Based on Sodium Alginate and Kraft Lignin Modified with Quaternary Ammonium Compound

*Jocelyn Miriam Illachura Rodríguez, Guilherme Ribeiro de Carvalho, Liliane María Ferrarero Lona*

Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)  
j272270@dac.unicamp.br, gr.carvalho@yahoo.com.br, lona@unicamp.br

### Resumen

Single-use plastic packaging faces difficulties in recycling, which undermines its circularity. Most of these packages are made from non-biodegradable polyolefins, which can lead to adverse environmental impacts. In this context, biodegradable polymers like sodium alginate (SA) stand out due to their excellent film-forming ability, as well as their biocompatibility and non-toxic nature, making them a promising alternative for developing single-use plastic films. However, the physico-chemical properties of AS are inferior to those of polyolefins, presenting low tensile strength. To overcome this limitation, this study proposes the addition of cationic lignin (CL) derived from kraft lignin (KL), obtained through quaternization with glycidyl-trimethylammonium (GTMAC), to the SA matrix. The chemical modification was confirmed through elemental analysis, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), thermogravimetric analysis (TGA), differential scanning calorimetry (DSC), and moisture sorption. The results revealed a KL replacement grade of 0.465, demonstrating the success of the graft reaction. This work aimed to develop and characterize SA-based polyelectrolyte films with different concentrations of CL using casting method, where the formation of polyelectrolyte complexes is due to the interactions between the opposite charges of CL and SA. The results showed that incorporating CL into SA films improved mechanical strength, resistance to free radicals and UV radiation, hydrophobicity, and antioxidant properties. This study highlights the benefits

of lignin valorization and provides evidence of the potential for applying sustainable sodium alginate-based films as an alternative to conventional plastic packaging.

*Palabras clave:* kraft lignin, cationic lignin, filmes, glicidil-trimetilamônio, sodium alginate.

## Fotodegradación de metformina usando nanopartículas de $\text{TiO}_2\text{-CuO}_2$ soportadas en una malla de polímero ABS

*Marcos David Mora Montes, Ricardo Solano Pizarro, Adriana Herrera Barros*

Universidad de Cartagena  
mmoram1@unicartagena.edu.co, rsolanop@unicartagena.edu.co,  
aherrerab2@unicartagena.edu.co

### Resumen

Esta investigación tiene como objetivos: 1) degradar metformina empleando la fotocatalisis heterogénea, por heterouniones de nanopartículas de dióxido de titanio y óxido de cobre, y 2) evaluar la eficiencia de las nanopartículas de dióxido de titanio y óxido de cobre por separado. Para ello, se ubica una base de polímero ABS con un mallado que permita el paso de agua con el contaminante, formando partes de un fotoreactor de película descendente. Se emplearon precursores que son sostenibles y síntesis que son amigables con el medio ambiente, para evitar un gran uso de reactivos tóxicos. Como precursor, utilizaremos el extracto de moringa, y el método para crear las heterouniones es impregnación húmeda asistida por ultrasonido. Para la fijación de las nanopartículas a la base se empleará un adhesivo en *spray*, el cual atrapará las nanopartículas a los poros del material ABS, tras su exposición en una disolución de acetona y agua. La operación usará lo que es luz UV y visible para activar los materiales

fotocatalíticos, a fin de generar los radicales encargados de hacer la degradación de la metformina. Los parámetros que se van a evaluar serán el tiempo de residencia, las concentraciones en las heterouniones y el tiempo a la exposición solar.

*Palabras clave:* fotocatalisis heterogénea, química verde, degradación de fármacos, nanomateriales.

## Desarrollo de filtros con propiedades antimicrobiales a partir estructuras poliméricas modificadas con nanopartículas lignocelulósicas para la clarificación de hidromiel

*Diana Marcela Quiroz López, Martha Cuenca Quicazán, Marco Mason, Adriana Herrera Barros*

Universidad de Cartagena  
dqirozl@unicartagena.edu.co, mcuencaq@unicartagena.edu.co,  
marco.maso83@gmail.com, aherrerab2@unicartagena.edu.co

### Resumen

El proyecto tuvo como objetivo desarrollar un innovador sistema de clarificación para hidromiel mediante la fabricación de filtros avanzados, diseñados para mejorar la calidad de la bebida a través de la incorporación de propiedades antimicrobianas, la remoción de sedimentos indeseados y la eliminación de olores no deseados. Este sistema se basa en filtros obtenidos mediante la impresión 3D de estructuras poliméricas modificadas con nanopartículas de lignina y celulosa, compuestos naturales y ecoamigables que confieren a los filtros propiedades únicas. Este esfuerzo fue realizado en conjunto con el Semillero NanoWorld y Fermelectroinnova, con el respaldo de la región de María la Baja (Bolívar, Colombia), como fuente principal de miel para la producción de la hidromiel. Se empleó tecnología de impresión 3D para fabricar filtros poliméricos con

formas geométricas optimizadas para el filtrado de líquidos. Estas estructuras se modificaron mediante la incorporación de nanopartículas de lignina y celulosa, materiales naturales derivados de fuentes renovables que aportan características antimicrobianas. La lignina, además de sus propiedades de refuerzo, tiene una actividad biocida que inhibe la proliferación de bacterias y hongos; mientras que la celulosa mejora la eficiencia del filtrado, al ser capaz de adsorber impurezas. Los filtros estaban diseñados para cumplir diversas funciones, comenzando con la remoción de olores indeseados a través de un filtro de carbón activado, y luego integrando un filtro antimicrobiano basado en las propiedades de los materiales modificados. El proyecto procura tener como resultado el desarrollo de un sistema de filtros multifuncionales que mejoren la calidad del hidromiel producido por Fermelectroinnova. Se espera que los filtros diseñados no solo eliminen los sedimentos y olores indeseados, sino que también inhiban el crecimiento de microorganismos dañinos, prolongando la vida útil de la bebida y mejorando su seguridad microbiológica.

*Palabras clave:* nanotecnología, impresión 3D, filtros avanzados, hidromiel, propiedades antimicrobianas.

---

## Desarrollo de filtros de quitosano y PLA reforzados con nanopartículas de celulosa a partir de residuos de *Cymbopogon citratus*

*Betty Julio Peñalosa, Gezira de Ávila*

*Montiel, Adriana Herrera Barros*

Universidad de Cartagena

[bjuliop@unicartagena.edu.co](mailto:bjuliop@unicartagena.edu.co), [gdeavilam@unicartagena.edu.co](mailto:gdeavilam@unicartagena.edu.co),

[aherrerab2@unicartagena.edu.co](mailto:aherrerab2@unicartagena.edu.co)

### Resumen

La calidad del aire es un tema de gran relevancia en la actualidad, y ha sido objeto de estudio por parte de investigadores de todo el mundo, debido al impacto de las actividades humanas en la contaminación y los riesgos biológicos que se provocan con la emisión de contaminantes y material particulado al ambiente, como medios de transporte, generación de residuos, además el crecimiento del sector industrial, que no solo afectan al ambiente, sino la salud humana, ocasionando enfermedades respiratorias, cardiovasculares y otros problemas de salud. En este estudio se aprovecha el residuo herbáceo aromático de hierba limón (*Cymbopogon citratus*), el cual tiene un 33 % de celulosa, y por medio del tratamiento alcalino se hace su extracción total de celulosa para luego llevarlo a una escala nano e incorporarlo a la estructura del quitosano. Esta combinación de biopolímeros aporta propiedades físico-mecánicas por parte de la celulosa y propiedades antimicrobianas por parte del quitosano; además, ambos son biodegradables y constituyen una alternativa para elaborar filtros de mascarillas a base de celulosa y quitosano, y así, aparte de ser ecoamigables con el ambiente, protegen la salud humana en espacios que estén expuestos a este tipo de contaminantes.

*Palabras clave:* nanopartículas, celulosa, quitosano, filtros.

## Obtención de nanopartículas de alúmina aplicando metodología de química verde

*Miguel Ángel Castro Herrera, Laura Tous Meza, Dylan Martínez Bernett, Manuel Saba, Adriana Herrera Barros*

Universidad de Cartagena

mcastroh@unicartagena.edu.co, ltousm@unicartagena.edu.co,

dmartinezb5@unicartagena.edu.co, msaba@unicartagena.edu.co,

aherrerab2@unicartagena.edu.co

### Resumen

La síntesis de nanopartículas con métodos de química verde han cobrado gran interés en los últimos años, debido a su impacto ambiental reducido y su potencial en diversas aplicaciones. En este estudio se emplean nitrato de aluminio ( $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ ) y cloruro de aluminio ( $\text{AlCl}_3$ ), con el fin de evaluar cuál de ellos permite obtener nanopartículas con mejores características para su incorporación en recubrimientos tipo pintura. Como medio de síntesis se utiliza extracto de limoncillo (*Cymbopogon citratus*), el cual actúa como agente reductor y estabilizante en el proceso de formación de las nanopartículas. El enfoque de síntesis verde permite minimizar el uso de reactivos tóxicos y disminuir el impacto ambiental del proceso. Así, se caracterizan las nanopartículas obtenidas mediante técnicas como espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), difracción de rayos X (XRD) y microscopía electrónica de barrido con espectroscopia de energía dispersiva (SEM-EDS). Ello permitirá comparar la efectividad de cada precursor en la obtención de nanopartículas con propiedades óptimas para su aplicación en recubrimientos. La evaluación de las propiedades fisicoquímicas de las nanopartículas sintetizadas es crucial, ya que su incorporación en recubrimientos tiene el propósito de conferir propiedades funcionales como actividad antimicótica, confort térmico y autolimpieza; además, son altamente deseables en aplicaciones industriales y arquitectónicas, donde la mejora del desempeño

de los recubrimientos puede contribuir a la sostenibilidad y durabilidad de las superficies tratadas. Los resultados de este estudio permitirán determinar cuál de los dos precursores es más adecuado para la síntesis de nanopartículas de alúmina en términos de pureza, tamaño y morfología, así como su compatibilidad con sistemas de recubrimientos. Este estudio contribuye al desarrollo de tecnologías ecoamigables y amplía el conocimiento sobre el impacto de diferentes precursores en la síntesis de nanopartículas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , promoviendo su aplicación en sectores como la construcción y la industria de recubrimientos.

*Palabras clave:* nanomateriales, alúmina, pintura.

---

## **Electrospraying de proteína de suero de leche: obteniendo un material para remover metales pesados del agua**

*María Fernanda Aragón, Mateo Andrés*

*Gallardo, Carlos Alberto Jiménez Junca*

Universidad de La Sabana  
aragonm.mf@gmail.com, carlosjj@unisabana.edu.co

### **Resumen**

La generación de materiales adsorbentes a partir de técnicas electrohidrodinámicas ha cobrado gran interés en el desarrollo de tecnologías para la remoción de contaminantes en agua. Con el *electrospraying* se forman partículas esféricas con alta relación superficie-volumen, lo que favorece su capacidad de adsorción de metales pesados. En este estudio se empleó como método para producir partículas a partir de proteínas del suero de leche (WPI), evaluando el efecto del diámetro de la aguja, el voltaje aplicado y la concentración de WPI sobre las características de las partículas obtenidas. Para

ello, se implementó un diseño experimental Box-Behnken, por medio del cual se analizó la influencia de estos parámetros y su interacción, con el fin de establecer las condiciones adecuadas para obtener el tamaño y la morfología de un material adsorbente de metales pesados. Se determinó que la concentración de WPI influye directamente en la estabilidad del chorro y en la distribución de tamaños de las partículas; el voltaje aplicado modificó la dinámica de atomización del fluido, afectando la formación del cono de Taylor y, por ende, la uniformidad de las partículas. Finalmente, el diámetro de la aguja tuvo un impacto en la dispersión de tamaños y se observó que diámetros más pequeños favorecen la obtención de partículas más finas y homogéneas. Se concluyó que con la combinación adecuada de estos parámetros se obtiene un material adsorbente a partir del proceso de *electrospraying*. Este estudio contribuye al desarrollo de materiales que aprovechen subproductos de industrias como la láctea para la remoción de contaminantes como los metales pesados, destacando el potencial de las proteínas del suero de leche como precursores de materiales funcionales.

*Palabras clave:* *electrospraying*, adsorción, metales pesados, proteína de suero de leche.

---

## Modificación del polímero PLA con propiedades antimicrobianas mediante la incorporación nanocristales de celulosa

*José David de Arco de Ávila, Karina Ojeda  
Delgado, Adriana Herrera Barros*

Universidad de Cartagena  
jdearcod@unicartagena.edu.co, kojedad@unicartagena.edu.co,  
aherrerab2@unicartagena.edu.co

### Resumen

El incremento de la resistencia bacteriana representa un desafío para la salud pública. Diferentes materiales antimicrobianos ofrecen una solución prometedora pero la producción convencional genera impactos significativos. En la última década se ha reflejado el interés por investigar materiales poliméricos de escala nanométrica que contenga propiedades antimicrobianas, para diferentes aplicaciones en la industria alimenticia, biomédica, etc. Uno de los nanomateriales más estudiados es nanocelulosa, proveniente de la celulosa, el biopolímero más abundante, con características excepcionales para la formulación de nuevos materiales poliméricos. Esta investigación tiene como objetivo obtener y sintetizar nanocristales de célula a partir de residuos agroindustriales de maíz y cacao, incorporándolos en una matriz de ácido poliláctico para la modificación y evaluación de sus propiedades morfológicas, fisicoquímicas y su comportamiento antimicrobiano. La celulosa se sintetiza tras un tratamiento físico y alcalino, y se somete a un blanqueamiento con  $\text{CH}_3\text{COOH}$  al 1.7 % v/v y  $\text{NaClO}_2$  al 1.5 % p/v a 80 °C durante 1 h y seca a 60 °C durante 3 h. Entre tanto, la nanocelulosa se sintetiza con ácido sulfúrico al 50 % v/v durante 1 h a 300 rpm. Posteriormente, se enjuaga hasta un pH de 4.5 y se procesa en Ultraturrax durante 45 min a 25 000 rpm y se seca a 60 °C durante 24 h. El análisis espectroscópico (FTIR) confirma la presencia de bandas características de los grupos hidroxilos, C-H, C=O,

C-O-C, además de evidenciar contaminación por lignina y hemicelulosa. Esto demuestra que la celulosa extraída presenta la composición química característica para este tipo de biomasa. La calorimetría diferencial de barrido muestra un descenso en las temperaturas de transición vítrea, fusión y condensación a medida que se aumenta la concentración de nanopartículas en la matriz polimérica. Sin embargo, las pruebas realizadas utilizando *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* no evidencian una adecuada actividad antimicrobiana a concentraciones de 0.25 % p/p 0.5 % p/p y 1 % p/p de nanocristales de celulosa en la matriz de PLA.

*Palabras clave:* ácido poliláctico, residuos agroindustriales, nanocristales de celulosa.

## Análisis de la eficiencia y selectividad de nanocristales de celulosa del cacao en la remoción de contaminantes orgánicos en agua

*Luisa José Acosta-Esalas, María Cecilia García-Espiñeira, Lesly Patricia Tejada Benítez*

Universidad de Cartagena  
lacostae@unicartagena.edu.co, mgarciae@unicartagena.edu.co,  
ltejedab@unicartagena.edu.co

### Resumen

El aumento en la producción de bienes ha impulsado investigaciones para encontrar alternativas renovables y económicas en el tratamiento de aguas contaminadas con compuestos orgánicos. La adsorción con materiales naturales es una opción prometedora debido a su bajo costo y alta eficiencia. Además, los desechos agroindustriales, como los del cacao en Bolívar, generan contaminación ambiental por su inadecuada gestión. En este trabajo se desarrolla un material celulósico adsorbente

a partir de cáscaras de cacao para eliminar contaminantes orgánicos azoicos como el rojo Congo y colorantes de trifenilmetano como el azul de metileno del agua. Se aplicó una hidrólisis alcalina para aumentar la porosidad del material y se eliminó la lignina mediante una modificación química con cloruro de hierro hexahidratado ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) y ajuste de pH con amoníaco al 25 %. Se obtuvieron doce variantes de bioadsorbentes de diferentes tamaños de partícula, los cuales se caracterizaron mediante Microscopía Electrónica de Barrido acoplada a Espectroscopía de Energía Dispersiva (SEM-EDS) y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). La presencia de cada contaminante en la solución se realizó por espectroscopía UV-VIS. Los datos se usaron para calcular la eficiencia de remoción y cinética de adsorción. Los resultados mostraron que los adsorbentes sintetizados presentaron un porcentaje de remoción mayor al 80 % de ambos contaminantes. Asimismo, se espera que el modelo de Freundlich describa de manera más adecuada la cinética de adsorción, debido a la heterogeneidad del material celulósico y que el modelo de pseudosegundo orden se ajuste mejor a los datos experimentales.

*Palabras clave:* adsorción, contaminantes orgánicos, residuos agroindustriales.

---

## Evaluación de la modificación superficial del polímero PLA con nanopartículas de óxido de zinc para la determinación de sus propiedades fisicoquímicas y antibacterianas

*Yohiller Yurgaky Hernández, Karina Angelica*

*Ojeda Delgado, Adriana Herrera Barros*

Universidad de Cartagena

yyurgakih@unicartagena.edu.co, kojedad@unicartagena.edu.co,

aherrerab2@unicartagena.edu.co

### Resumen

En este proyecto de investigación se lograron sintetizar nanopartículas de óxido de zinc empleando como materia prima hojas de limoncillo. El análisis por espectroscopía UV-visible reveló un pico en la absorbancia alrededor de los 378 nm, lo cual es característico de las nanopartículas de óxido de zinc y confirma la exitosa formación de estas estructuras a partir de las hojas de limoncillo. También se obtuvo ácido poliláctico (PLA) modificado con nanopartículas óxido de zinc (a concentraciones de 0.25, 0.50 y 1.00 % p/p) y se comprobó que las nanopartículas óxido de zinc confieren propiedades antibacterianas al PLA. Adicionalmente, el análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM) a 20 000 X proporcionó información sobre la morfología de las nanopartículas obtenidas y su dispersión en la matriz polimérica. Las imágenes SEM revelaron una estructura mayormente esférica para las nanopartículas de óxido de zinc y una distribución uniforme. Asimismo, la calorimetría diferencial de barrido nos permitió conocer diferentes características térmicas de los materiales estudiados. Por último, el AVC sobre la modificación de la matriz polimérica de PLA con nanopartículas de óxido de zinc nos permite apreciar que el mayor impacto ambiental está en el uso del PLA y el consumo energético de todo el proceso. Y las categorías en las que se tiene el mayor impacto son la

eutrofización de agua dulce, seguida del consumo de recursos abióticos (minerales y metales) y el uso de recurso fósiles.

*Palabras clave:* nanopartículas, óxido de zinc, ácido poliláctico.

## Obtención de nanopartículas de lignina a partir de semilla de aguacate Hass para uso en la obtención de bioplásticos

*Liliana María Úsuga Manco, Luz Marina Ramos Torres, Lesly Patricia Tejada Benítez*

Universidad de Cartagena

lusugam@unicartagena.edu.co, lramost2@unicartagena.edu.co,

ltejedab@unicartagena.edu.co

### Resumen

Uno de los factores que contribuyen al cambio climático es la inadecuada gestión de los residuos lignocelulósicos provenientes de la agroindustria. Específicamente, el proceso productivo del aguacate genera alrededor del 30 % de subproductos y desechos orgánicos que incluyen pulpa, cáscara y semilla. Esta última está constituida por almidón, fibra de celulosa, hemicelulosa y lignina; además, proteínas, grasas, vitaminas (A, C y E), minerales (como calcio, sodio, zinc y potasio), y es rica en antioxidantes, compuestos fenólicos y sustancias fitoquímicas. Debido a ello se le atribuyen propiedades antioxidantes, antimicrobiales y antifúngicas que potencian su aplicabilidad en producción de biopolímeros naturales para empaques biodegradables de alimentos, impresiones 3D y resinas. El aprovechamiento y valorización de los residuos lignocelulósicos se constituye en una estrategia para disminuir el cambio climático e impulsar el desarrollo de procesos químicos sostenibles hacia el uso de fuentes renovables como la lignina, la cual puede desempeñar un papel importante en la creación de una economía más limpia. Se considera que

la lignina es el tercer biopolímero más abundante, superado por la celulosa y la hemicelulosa, y es el recurso renovable aromático más abundante en la tierra. Sin embargo, presenta retos en su procesabilidad, debido a su efecto recalcitrante, poca solubilidad y estructura compleja. Estos factores impactan la eficiencia del procesamiento y sostenibilidad a escala industrial de productos biobasados; por ello, se han buscado alternativas como la generación de nanopartículas de lignina para mejorar su procesabilidad. Esta investigación tuvo como propósito obtener nanopartículas de lignina a partir de la semilla de aguacate Hass proveniente del departamento del Putumayo (Colombia). Para ello se utilizó una estrategia ascendente de precipitación con antidisolvente seguida de un enfoque descendente con ultrasonificación. Con los resultados de la caracterización física se determinó el tamaño de partícula hidrodinámico mediante DLS, lo cual fue corroborado mediante análisis morfológico. El análisis de contenido fenólico total obtenido mediante el ensayo Folin-Ciocalteu y espectroscopía UV-vis fue de 400 mg de ácido gálico por gramo de muestra y la actividad antioxidante se encontró satisfactoria, de acuerdo con el método de eliminación de radicales libres DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil). Los datos se compararon con respecto a los valores reportados para la lignina Kraft y se concluyó que se obtuvieron nanopartículas con propiedades funcionales mejoradas que potencian su uso en biopelículas para empaque de alimentos, valorizando de esta manera los residuos sólidos provenientes de la semilla de aguacate.

*Palabras clave:* bioplásticos, lignina, aguacate Hass, nanopartículas.

---

## Desarrollo de un aditivo poliglicerol-éster para mezclas asfálticas tibias

*Gustavo Emilio Ramírez Caballero,  
Yuly Fernanda López Contreras*

Universidad Industrial de Santander  
gusramca@uis.edu.co, yflopcon@uis.edu.co

### Resumen

Ante el impulso global por la transición energética y la adopción de tecnologías más sostenibles en infraestructura vial, se ha desarrollado un novedoso aditivo para mezclas asfálticas tibias (WMA, por sus siglas en inglés). Este aditivo, elaborado a partir de poliglicerol modificado con ácidos grasos y aminoácidos, ha sido patentado por la Universidad Industrial de Santander. Su síntesis parte del glicerol, un subproducto del proceso de obtención de biodiésel, y comprende etapas de polimerización, esterificación con ácido oleico y funcionalización mediante grupos amino. El producto actúa directamente sobre el ligante asfáltico y permite trabajar a temperaturas considerablemente más bajas durante las etapas de mezclado y compactación, sin afectar negativamente las propiedades mecánicas de la mezcla. Se ha logrado una disminución de hasta 30 °C en comparación con las mezclas tradicionales, lo cual se traduce en un menor consumo energético y una reducción significativa de emisiones contaminantes, tanto en planta como en el sitio de aplicación, apoyando así los compromisos del sector construcción en materia de sostenibilidad y descarbonización. En términos técnicos, el aditivo mejora la estabilidad coloidal del asfalto, ofrece mayor resistencia al envejecimiento y aporta características térmicas y reológicas favorables. La incorporación de grupos amino en su formulación más avanzada ha demostrado un efecto positivo sobre la adherencia entre agregados y ligante, corrigiendo la alta susceptibilidad a la humedad observada en versiones previas del producto. Este desarrollo representa una alternativa frente

a los aditivos comerciales actuales, con la ventaja de utilizar materias primas renovables. Además, fomenta el aprovechamiento del aceite de palma en la industria, ofreciendo una solución eficaz, ambientalmente responsable y adaptada a las necesidades del contexto latinoamericano para la construcción de pavimentos flexibles.

*Palabras clave:* mezclas asfálticas tibias, poliglicerol, aditivo funcionalizado, ácidos grasos, transición energética, eficiencia térmica, adhesión asfalto-agregado, sostenibilidad vial.

## Adsorción de cadmio en un sistema continuo usando biochar obtenido a partir de la semilla de aguacate (*Persea americana*)

*Jhonatan Venner González, Liseth Mallarino  
Miranda, Lesly Tejada Benítez*

Universidad de Cartagena  
jvennerg@unicartagena.edu.co, lmallarinom@unicartagena.edu.co,  
lptbenitez@gmail.com

### Resumen

La contaminación por metales pesados en las fuentes hídricas de Colombia representa una problemática ambiental y de salud pública de gran magnitud. Ríos como el Atrato, San Jorge, Cauca y Magdalena, esenciales para las comunidades ribereñas, presentan concentraciones alarmantes de elementos tóxicos como mercurio, plomo y cadmio. Estos metales, derivados principalmente de actividades mineras y agroindustriales, se bioacumulan en organismos acuáticos y se biomagnifican a lo largo de la cadena trófica, afectando tanto la fauna como la salud humana. Varias investigaciones han reportado

intoxicación por metales pesados en especies como el pisingo (*Dendrocygna autumnalis*) y peces de consumo frecuente, lo que pone en riesgo a poblaciones que dependen de estos recursos para su alimentación. Frente a esta problemática, son necesarias estrategias para la remediación de metales pesados en ecosistemas acuáticos. El biochar, obtenido a partir de residuos agroindustriales, ha demostrado una alta eficiencia en la adsorción de metales pesados, debido a su estructura porosa y elevada capacidad de retención de contaminantes. Este estudio evaluó la capacidad de adsorción de cadmio en soluciones acuosas utilizando biochar producido a partir de semillas de aguacate, un subproducto de la industria aguacatera en la región caribe colombiana. Para ello se empleó el proceso de pirólisis a temperaturas de 650 °C y 900 °C, dos tamaños de partícula 0.355 mm y 0.212 mm; después, se caracterizó el material mediante espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) y microscopía electrónica de barrido (SEM), con el fin de analizar la morfología y los grupos funcionales del material adsorbente. Las pruebas de adsorción se realizaron en un sistema continuo, variando la concentración inicial de cadmio y el tiempo de contacto, para determinar la capacidad de remoción del biochar. Los resultados mostraron que la semilla de aguacate carbonizada presenta una alta eficiencia en la eliminación de cadmio en soluciones acuosas, con porcentajes de remoción superiores al 80 % en condiciones óptimas. Se observó que el biochar posee una gran afinidad por el cadmio, debido a la presencia de grupos funcionales como carboxilos e hidroxilos, que facilitan la captura de los iones metálicos. Las conclusiones indican que el biochar de semilla de aguacate es una alternativa viable y de bajo costo para la mitigación de contaminantes en cuerpos de agua impactados por actividades antrópicas. Su aplicación en sistemas de tratamiento de aguas podría representar una solución sostenible para la remediación de metales pesados en

regiones afectadas por la minería, promoviendo el aprovechamiento de residuos agroindustriales en la protección ambiental.

*Palabras clave:* biochar, adsorción, metales pesados, cadmio, remediación ambiental.

---

## Desarrollo de biocompositos micelio-fibra de agave como alternativa de biomateriales sostenibles

*María Guadalupe Lomeli Ramírez,  
Alexandra Miguel Guevara Castillo*

Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara  
maria.lramirez@academicos.udg.mx, alexandra.guevara@alumnos.udg.mx

### Resumen

Los empaques de poliestireno expandido (EPS) son de uso cotidiano, pero generan grandes cantidades de residuos y su degradación en el medio ambiente es muy lenta, por lo que se convierten en una fuente potencial de contaminación, al acumularse en ecosistemas terrestres y marinos. Por ello, se buscan alternativas sostenibles y biodegradables que reduzcan su impacto ambiental. Este estudio tiene como objetivo contribuir al conocimiento sobre los materiales biofabricados a partir de micelio (*Ganoderma* sp.) y fibra de bagazo de agave (*Agave tequilana* Weber var. azul), proponiéndolos como una opción ecológica frente a los empaques de poliestireno. El proceso inicia con la hidratación y esterilización de la fibra molida. Luego, se mezcla con micelio de *Ganoderma* sp. y se incuba en condiciones óptimas. Una vez cubierta por el micelio, se llena manualmente en moldes y se vuelve a incubar hasta cubrir la superficie. Finalmente, los biomateriales se desmoldan y se secan para eliminar la humedad e inactivar el hongo. Los biomateriales obtenidos mostraron buena apariencia estética

y permitieron desarrollar productos como macetas, empaques y paneles aislantes. Presentaron baja densidad, flotando en agua debido a la hidrofobicidad del micelio de *Ganoderma* sp., comprobada mediante la prueba de ángulo de contacto. La microscopía óptica y SEM evidenció un abundante crecimiento de hifas sobre la fibra de agave, lo que favorece la consolidación del material. Se evaluó la flamabilidad de los biomateriales en comparación con la espuma de poliestireno, observándose que esta última se quemó rápidamente con humo negro; mientras que los biomateriales presentaron combustión lenta, humo blanco y autoextinción. El análisis FTIR confirmó la presencia de polisacáridos, proteínas y compuestos derivados de la degradación de lignina y celulosa, característicos de hongos xilófagos. Las propiedades de resistencia a la flexión (fuerza máxima y deformación) fueron muy similares entre el poliestireno y los biocompositos micelio-fibra. Los biomateriales micelio-bagazo de agave destacan por su proceso de fabricación sencillo, bajo costo y técnicas ecológicas. Su versatilidad en el moldeado permite desarrollar diversos productos, lo cual impulsa la economía circular en comunidades tequileras, genera empleo y promueve la sostenibilidad para la conservación del ecosistema.

*Palabras clave:* biocompositos, micelio, *Ganoderma* sp., fibra, *Agave tequilana*.

---

## Innovación en materiales: polímeros a partir de biopelículas de almidón y residuos naturales

*Jennifer Prieto Galeano, Juan Andrés Romero  
Pedraza, Nicolle Eliana Villamil Aguirre, John Jairo  
Porras Vega, Johanna Karina Solano Meza*

Universidad Ean  
jksolano@universidadean.edu.co

### Resumen

Mitigar impactos ambientales y riesgos para la salud pública asociados al consumo masivo de plásticos de un solo uso ha impulsado la investigación y desarrollo de nuevos productos que satisfagan las demandas de estos materiales, para la promoción de una relación más sostenible con el medio ambiente. Los bioplásticos se constituyen en una alternativa, dado que se pueden elaborar con materias primas como el almidón y residuos agrícolas, estos últimos como material de refuerzo. Así, esta investigación se centró en la síntesis y caracterización de un bioplástico a base de almidón de sagú (*Canna endulis*, Ker) combinado con residuo de orejero (*Enterolobium cyclocarpum*) como un material innovador y posible sustituto de plásticos de un solo uso que podrían llegar a satisfacer las necesidades de un mercado creciente. La sustitución de plásticos convencionales por bioplásticos fomenta la transición hacia un enfoque de economía circular, por lo que iría en línea con políticas nacionales y apoyaría el cumplimiento de las metas establecidas por el país asociadas a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Este enfoque prioriza el cierre de los ciclos, al contribuir significativamente al aprovechamiento de residuos con potencial de uso eficiente. Además, impulsa la innovación en la gestión eficiente de recursos y en el desarrollo de alternativas sostenibles. Este trabajo logró sintetizar una biopelícula a base de glicerina, alcohol polivinílico, almidón de sagú y residuo de orejero, demostrando la viabilidad de utilizar

estos componentes como materia prima para la producción de bioplásticos. La caracterización del material obtenido reveló propiedades preliminares adecuadas de resistencia, tensión y elongación, lo que abre la puerta a futuras investigaciones para explorar el potencial del polímero sintetizado para diversos usos.

*Palabras clave:* bioplásticos, economía circular, residuos naturales, polímeros naturales, materiales biodegradables.

---

## Optimization of Properties of Plantain Starch Films Enriched with Avocado Flour for Flexible and Rigid Packaging

*Liliana Ávila Martín, Jairo Ernesto Perilla Perilla*

Universidad Nacional de Colombia  
lavilam@unal.edu.co, jeperillap@unal.edu.co

### Resumen

The growing demand for biodegradable materials in food packaging has driven research toward bioplastics derived from renewable sources. In this context, this study addresses the optimization of plantain starch films modified by the addition of avocado flour, aiming to enhance both their mechanical properties and moisture barrier performance. Unmodified starch films inherently suffer from low mechanical strength and high-water sensitivity, which limits their applicability in packaging. Therefore, developing a formulation that combines the film-forming capacity of plantain starch with the hydrophobic and structurally reinforcing benefits of avocado flour is essential. A response surface methodology (RSM) using Minitab 18 was employed to systematically evaluate the influence of key variables, including starch concentration, sorbitol as a plasticizer, and the proportion of avocado flour. Notably, two distinct optimization strategies were pursued:

one for flexible packaging and another for rigid packaging. For flexible packaging, the focus was on achieving high elongation and adequate tensile strength, while for rigid packaging, the emphasis was on maximizing mechanical strength and maintaining dimensional stability. Real verifications of the formulations were conducted, enabling experimental adjustment and validation of parameters such as tensile strength, elongation, swelling degree, contact angle, and water vapor permeability. The results demonstrated that the optimal formulation for flexible packaging was achieved with 4.5% starch, 4.3% sorbitol, and 0.83% avocado flour, which provided a balanced improvement in flexibility, mechanical strength, and moisture resistance. For rigid packaging, although different formulations were necessary to meet the higher mechanical demands, both optimization approaches showed significant improvements in film structure, with marked reductions in swelling and increases in contact angle—indicative of enhanced hydrophobicity and material stability. In summary, the mathematical optimization process effectively identified formulations targeting specific film properties, highlighting its value in guiding design. However, experimental validations revealed that these models do not fully capture the complex interactions in the film matrix, emphasizing the need for practical testing alongside theoretical predictions. The combined approach successfully optimized properties for both flexible and rigid packaging, paving the way for more sustainable and efficient bioplastic solutions.

*Palabras clave:* bioplastics, plantain starch, avocado flour, optimization, sustainable packaging.

---

## Preparación de membrana hidrofóbica de quitosano/polivinilacetato modificada con lignina y nanopartículas de óxido de zinc en la separación de aceite y agua

*Valentina Paternina Puello, Laura Daniela Castillo Cuesta,  
Adriana Herrera Barros, Gezira de Ávila Montiel*

Universidad de Cartagena

vpaterninap@unicartagena.edu.co, lcastilloc3@unicartagena.edu.co,

aherrerab2@unicartagena.edu.co, gdcavilam@unicartagena.edu.co

### Resumen

El creciente vertido de aguas residuales industriales oleosas y los frecuentes incidentes de vertidos de petróleo han despertado un enorme interés debido a los graves daños que causan al medio ambiente. Este tipo de contaminación compromete la calidad del agua, daña la biodiversidad y la estructura de los ecosistemas acuáticos, afecta negativamente la vida marina y se generan riesgos para la salud humana, impactando en comunidades que dependen del agua. La contaminación por aceites puede causar daños a la infraestructura y afectar industrias clave como la pesca y el turismo. La tecnología de membranas ha demostrado ser una alternativa más eficiente y sostenible para procesos de separación y purificación, superando los métodos tradicionales, como gravedad, flotación, desnatado y adsorción. En respuesta a estas limitaciones, los materiales de separación de tipo superhidrofóbico/superoleofílico han sido ampliamente estudiados y aplicados en el campo de la separación de agua y aceite. La tecnología de separación por membranas presenta ventajas como su alta eficiencia, bajo costo energético, facilidad de funcionamiento continuo y disminución del impacto ambiental, y la convierte en una opción indispensable para la separación de emulsiones. Sin embargo, las membranas poliméricas presentan limitaciones debido al ensuciamiento que disminuye el flujo y la eficiencia, y la degradación, que acorta la vida útil de la membrana. Por

esto, en la modificación de la superficie, surge la incorporación de componentes hidrófilos en el material de la membrana y el recubrimiento para superar las limitaciones que se presentaban y potencializar las propiedades presentes. El objetivo de este proyecto de investigación fue elaborar membranas hidrofóbicas a base de quitosano/polivinilacetato modificadas con nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) y partículas de lignina extraída de hojas de almendro tropical (*Terminalia catappa*), con el fin de evaluar su potencial en la separación aceite-agua. La lignina se extrajo mediante hidrólisis alcalina utilizando una solución de NaOH 3 % p/v; mientras que las nanopartículas de ZnO se sintetizaron por química verde empleando extracto de hojas de perejil como agente reductor. Las soluciones poliméricas se prepararon por el método de solución por Casting y se vertieron en cajas de Petri para formar las membranas. Las características de la membrana se analizan mediante FTIR, DSC, SEM-EDX, análisis BET, difracción de rayos X, espectroscopía UV-Vis y medición del ángulo de contacto. Las propiedades mecánicas se evalúan con un texturómetro, según la norma ASTM D882-09, midiendo fuerza tensil y porcentaje de elongación. Se realizan pruebas de permeabilidad al vapor de agua, solubilidad, capacidad de hinchamiento y porosidad. Además, se diseña un montaje a escala de laboratorio para la evaluación de la eficiencia de separación por gravedad de mezclas aceite-agua. Se espera que las membranas modificadas presenten mejoras significativas en resistencia e hidrofobicidad, posicionándolas como una alternativa viable para aplicaciones ambientales enfocadas en el tratamiento de aguas contaminadas.

*Palabras clave:* aguas oleosas, lignina, membrana, nanopartículas de óxido de zinc, quitosano.

---

## Preparación de vendaje compuesto de quitosano/alcohol polivinílico/lignina de almendro tropical (*Terminalia catappa*) y áloe para la cicatrización de heridas

*Brian Antonio Álvarez Lorduy, Elvis Enrique Suevis Gómez,  
Adriana Herrera Barros, Gezira de Ávila Montiel*

Universidad de Cartagena

balvarezl@unicartagena.edu.co, esuevisg@unicartagena.edu.co,

aherrerab2@unicartagena.edu.co, gdcavilam@unicartagena.edu.co

### Resumen

En la práctica médica y en la vida cotidiana, las heridas ocurren con frecuencia y surgen de forma imprevista en cualquier entorno y situación. Sin embargo, independientemente de su origen y gravedad, las heridas pueden causar una serie de síntomas y complicaciones significativas; por tanto, su manejo y cicatrización efectiva es crucial para la calidad de vida de las personas. El vendaje compuesto de quitosano y alcohol polivinílico (PVA) presenta limitaciones terapéuticas; pero la lignina extraída de hojas de almendro tropical (*Terminalia catappa*) contiene fitoquímicos hidrolizables con potente actividad antioxidante para el tratamiento de heridas. El quitosano es un polímero natural extraído de los exoesqueletos del camarón; forma la matriz de muchas películas, membranas, hidrogeles y apósitos; aporta flexibilidad; mejora la porosidad; favorece la regeneración celular, y mantiene hidratada la herida. El PVA es un polímero hidrofílico, con aplicación amplia en heridas, por su baja toxicidad, biodegradabilidad y alta absorción de agua. La lignina posee una estructura reticular tridimensional; contiene grupos hidroxilos, fenólicos y sulfónicos; presenta alta actividad antioxidante, y mejora las propiedades mecánicas del material. El *Aloe vera* es un gel natural que contiene compuestos activos que favorecen la producción de colágeno, la duplicación celular y la cicatrización de las heridas. Estudios recientes han fabricado

nanocompuestos de nitruro de carbono grafítico/calcio/*Aloe vera* y nanofibras de PVA/celulosa bacteriana/calcio/*Aloe vera* mediante electrohilado, para su aplicación como vendajes en heridas, pues ello mejora la actividad antibacteriana y cura lesiones diabéticas. En otra investigación sintetizaron vendajes de hidrogeles utilizando lignina y quitosano como biopolímeros, sulfato de condroitina (antibiótico) como agente reticulante y PVA como emulsionante. Estos vendajes cargados con medicamentos basados en biopolímeros naturales son promisorios para el desarrollo de materiales en el tratamiento de heridas. Otros investigadores diseñaron vendajes a base de gel de *Aloe vera* y goma de esterculia, mejorando el tratamiento y la cicatrización de heridas crónicas. El objetivo de esta investigación fue preparar un vendaje compuesto de quitosano/PVA/lignina de almendro tropical y *Aloe vera*, con potencial para la cicatrización de heridas. La lignina se extrajo mediante hidrólisis alcalina utilizando una solución de NaOH desde (1.5 a 5.5 % p/v); mientras que el gel de *Aloe vera* se obtuvo de forma artesanal y se dejó precipitar por 24 horas. Se prepararon nueve formulaciones usando el método de solución por Casting, se mezclaron con agitación a 300 rpm durante 24 horas y se vertieron en moldes para formar los vendajes. Las características del vendaje serán analizadas mediante FTIR, SEM-EDX, DSC, espectroscopía UV-Vis y medición del ángulo de contacto. Las propiedades mecánicas se evaluarán con un texturómetro, según la norma ASTM D882-09, midiendo la resistencia a la tensión y el porcentaje de elongación. Se realizarán pruebas de hinchamiento, solubilidad, actividad antioxidante y propiedad antibacteriana.

*Palabras clave:* *Aloe vera*, lignina, polivinilalcohol, quitosano, vendaje.

## Preparación de películas basadas en quitosano/hidropropilmetilcelulosa (HPMC)/lignina y nanopartículas de óxido de zinc para recubrimientos alimenticios

*Valeria Andrea Guzmán Pérez, Fernando de Jesús Fernández  
Puello, Rodrigo Ortega Toro, Gezira de Ávila Montiel*

Universidad de Cartagena

vguzmanp@unicartagena.edu.co, ffernandezp2@unicartagena.edu.co,

rortegap1@unicartagena.edu.co, gdeavilam@unicartagena.edu.co

### Resumen

El uso extensivo de plásticos no biodegradables, como el vinil, ha generado una grave problemática ambiental. A pesar de sus beneficios mecánicos y económicos, estos materiales de un solo uso, derivados del petróleo, terminan en cuerpos de agua y paisajes naturales, acumulándose debido a su lenta degradación; además, pueden transferir compuestos químicos a los alimentos, afectando la salud humana. En los últimos años, ha surgido un interés por desarrollar materiales híbridos, combinando biopolímeros y nanomateriales, con el fin de crear películas activas y biodegradables que sirvan como alternativas sostenibles para el recubrimiento de alimentos. Sin embargo, se ha demostrado que estas películas híbridas presentan limitaciones mecánicas que pueden ser corregidas mediante la incorporación de nanopartículas. La introducción de nanopartículas busca mejorar las propiedades mecánicas, antioxidantes y antimicrobianas del material. El quitosano es un polímero natural, biocompatible, biodegradable, antibacteriano, con poca toxicidad y se utiliza para la formación de películas. El hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) es un polímero semisintético derivado de la celulosa, es hidrofílico y en solución tiene un aspecto viscoso que se usa en la elaboración de películas activas. Particularmente, el óxido de zinc (ZnO) mejora la rigidez de las películas y reduce su absorción de agua, aumentando su funcionalidad. Estudios

recientes han preparado una película estable compuesta de quitosano y alcohol polivinílico (PVA) modificada con lignina y nanopartículas de ZnO, con excelente resistencia mecánica y mejora en las propiedades antibacterianas y antioxidantes para el recubrimiento de alimentos. Otro estudio desarrolló películas activas de HPMC con la adición de nanopartículas de ácido poliláctico que contenían extracto de té verde como agente antioxidante. Esta combinación aumentó la vida útil de los alimentos. En otra investigación se creó una película bicapa comestible a base de quitosano, HPMC-nisina y alginato de sodio, para el recubrimiento de castañas, mejorando la transparencia, resistencia a la tracción y disminuyendo la velocidad de descomposición. El objetivo de esta investigación fue elaborar películas a base de quitosano y HPMC, modificadas con lignina y ZnO, con el fin de obtener un material de bajo costo, biodegradable y con buenas propiedades de barrera. La lignina se extrajo de tallos de perejil mediante hidrólisis alcalina utilizando soluciones de NaOH % p/v; mientras que las nanopartículas de ZnO se sintetizaron por química verde empleando extracto de hojas de perejil como agente reductor. Las soluciones poliméricas se prepararon por el método de solución por Casting y se vertieron en cajas de Petri para formar las películas. Las características de la película serán analizadas mediante FTIR, DSC, SEM-EDX, difracción de rayos X y espectroscopía UV-Vis. Las propiedades mecánicas se evaluarán con un texturómetro, según la norma ASTM D882-09, midiendo fuerza tensil y porcentaje de elongación. Se realizarán pruebas de permeabilidad al vapor de agua, solubilidad, capacidad de hinchamiento y actividad antimicrobiana.

*Palabras clave:* hidropilmetilcelulosa, lignina, nanopartículas de óxido de zinc, película, quitosano.

---

## Hidrogeles biobasados a partir de sericina: alternativa para aplicaciones en agricultura urbana

*Carolina Buitrago Arias, Natalia Jaramillo Quiceno,  
Catalina Álvarez López, Zulamita Zapata Benabithé, Érika  
Arenas Castiblanco, Piedad Felisinda Gañán Rojo*

*Universidad Pontificia Bolivariana*

*carolina.buitrago@upb.edu.co, natalia.jaramilloq@upb.edu.co,*

*alvarezl.catalina@gmail.com, zulamita.zapata@upb.edu.co,*

*erika.arenas@upb.edu.co, piedad.ganan@upb.edu.co*

### Resumen

El desarrollo de nuevos materiales poliméricos biobasados tipo hidrogeles ha despertado un creciente interés debido, entre otros aspectos, a su potencial biodegradabilidad y a la posibilidad de darle una alternativa a residuos agroindustriales y así fomentar la economía circular. Los hidrogeles son estructuras tridimensionales formadas por polímeros entrecruzados que, al entrar en contacto con el agua, se hinchan significativamente. Además, suelen ser considerados sistemas de liberación controlada de diferentes sustancias de interés, como pueden ser algunos bioinsumos (por ejemplo, los biofertilizantes). Estos aspectos los convierte en una herramienta eficaz para aplicaciones como la agricultura urbana, en la cual las plantas pueden estar sometidas a diferentes condiciones de estrés hídrico o de deficiencias nutricionales. Estos materiales presentan diferentes retos, entre ellos la determinación de las condiciones más apropiadas que permitan la interacción entre los componentes. En este trabajo se prepararon hidrogeles biobasados, conformados por una trimezcla de alcohol polivinílico (PVA), carboximetilcelulosa (CMC) y sericina de seda (SS) aislada de residuos de capullos de gusano de seda. En este caso, se analizó la influencia de la temperatura de secado sobre la estructura y el comportamiento físico-mecánico de los

hidrogeles. Las condiciones evaluadas fueron a 40, 90 y 115 °C. Dentro de los ensayos realizados se encuentran el análisis estructural mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), la determinación de la absorción de humedad y de la fracción gel. Esos ensayos se complementaron con el análisis morfológico empleando microscopía electrónica de barrido (FE-SEM). Se aprecia que los hidrogeles secados a 40 °C tienen valores de absorción de agua de 23.61 g/g y 62 % de fracción gel; mientras que las muestras sometidas a 90 °C reportan valores de 22.97 g/g y 69 %, respectivamente. Para las películas tratadas a 115 °C no se obtuvieron datos concluyentes. El análisis infrarrojo mostró que al aumentar la temperatura, disminuían los grupos hidroxilo libres; esto podría deberse a la formación de puentes de hidrógeno entre CMC y PVA, y potencialmente al entrecruzamiento entre los diferentes componentes del hidrogel. Con la presencia de la sericina se considera que el hidrogel desarrollado pueda ser un fertilizante, gracias a su aportación de nitrógeno. Mediante los análisis de microscopía electrónica se ha identificado que las muestras tratadas a 40 y 90 °C tienen estructuras más ordenadas que las sometidas a 115 °C, lo cual contribuye potencialmente a estabilizar su estructura. Los materiales secados a 90 °C presentan una mayor estabilidad térmica, debido tal vez al incremento en las interacciones moleculares entre los componentes. Con esto mejora la resistencia del material bajo condiciones húmedas. Los resultados obtenidos sugieren que los hidrogeles biobasados a base de sericina aislada de residuos de la industria de producción de seda pueden emplearse en aplicaciones de agricultura, como la urbana, pues dentro de sus retos tiene la necesidad de disponer de sistemas ágiles y fáciles de aplicar, que mejoran la retención de humedad del

suelo y la disponibilidad bioinsumos, aspectos clave en el desarrollo y crecimiento de las plantas.

*Palabras clave:* hidrogel, sericina, materiales biobasados, agricultura, bioinsumos.

---

## Análisis comparativo de rutas de síntesis en óxidos de vanadio, un enfoque entre química convencional y química verde

*Kendell Alcázar Gómez Mateo, Watts Echeverry,  
Adriana Herrera Barros, Dylan Martínez Bernett*

Universidad de Cartagena

kalcazarg@unicartagena.edu.co, mwattse@unicartagena.edu.co,

aherrerab2@unicartagena.edu.co, dmartinezb5@unicartagena.edu.co

### Resumen

Los avances en nanotecnología han impulsado el desarrollo de nuevos materiales y tecnologías con aplicaciones diversas, desde la industria hasta la medicina. En este contexto, el uso de nanopartículas se ha consolidado como un área de gran interés, al permitir crear nanomateriales para su uso en distintos campos. Las nanopartículas de óxidos de vanadio poseen propiedades como fotocatalisis, antimicrobianas y de confort térmico. Esto las sitúa en una alternativa en diversas aplicaciones, como recubrimientos y películas. A pesar de los avances en métodos de síntesis sostenible, persiste una brecha en la evaluación integral de las rutas de química convencional y química verde para obtener óxidos de vanadio, ya que no hay suficientes estudios sistemáticos que contrasten ambas metodologías bajo distintos criterios. Esto incluye no solo la comparación de su rendimiento, calidad estructural (pureza y morfología, este mediante caracterizaciones como XRD y

SEM) y funcionalidad, sino también el análisis ambiental, viabilidad económica y escalabilidad. Esta investigación busca acortar la brecha evaluando ambos enfoques, con lo que no solo se identificarían rutas más limpias y eficientes, sino que se evitarían escenarios indeseados, como la pérdida de pureza o funcionalidad en aras de reducir el impacto ambiental. El objetivo principal fue comparar ambas rutas de síntesis y, mediante las caracterizaciones, determinar las debilidades y fortalezas de cada una. La síntesis se realizó utilizando metavanadato de sodio ( $\text{NaVO}_3$ ) como precursor y ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$  0.4 M) como agente reductor. Inicialmente, se preparó una solución acuosa de  $\text{NaVO}_3$  1 M en agua desionizada. Posteriormente, esta solución se sometió a ultrasonido a una temperatura controlada de  $50\text{ }^\circ\text{C}$  y se agregaron lentamente (por goteo) 30 mL de  $\text{HCl}$  0.4 M. La mezcla se mantuvo en reacción durante 1 h bajo ultrasonido, observándose la formación progresiva de un precipitado de coloración terracota, indicativo de la obtención del óxido de vanadio. Por otro lado, el enfoque de química verde se sintetizó utilizando un extracto vegetal, el cual se mezcló con una solución de metavanadato de sodio con agua destilada y se llevó a agitación magnética en una plancha durante 2 h a una temperatura constante de  $60\text{-}70\text{ }^\circ\text{C}$ . Se prevé que la síntesis verde de óxidos de vanadio demuestre un impacto ambiental significativamente reducido, gracias al uso de recursos renovables y condiciones suaves de temperatura; no obstante, será necesario optimizar su cinética para acelerar las reacciones y evaluar su reproducibilidad. Por otro lado, se espera que la síntesis convencional ofrezca tiempos de reacción rápidos, productos de alta pureza y un desempeño fiable, aunque requerirá estrategias de gestión de residuos.

*Palabras clave:* nanopartículas, química verde, XRD, SEM.

## Caracterización de celulosa bacteriana obtenida mediante extracción y purificación de kombucha

*Nicole Valenciano Araya*

Universidad Nacional, Costa Rica  
nicole.valenciano.araya@est.una.ac.cr

### Resumen

La celulosa bacteriana (CB) ha despertado un creciente interés debido a su alta cristalinidad, biocompatibilidad, biodegradabilidad y buenas características mecánicas. A diferencia de la celulosa vegetal, es más pura, al no contener lignina, pectina o hemicelulosa, lo que facilita su procesamiento y amplía sus aplicaciones en biomedicina, alimentos y materiales sostenibles. No obstante, en la actualidad se presentan desafíos relacionados con la optimización de su producción mediante procesos accesibles y ambientalmente responsables. El trabajo pretende obtener CB, mediante fermentación, utilizando bacterias del género *Acetobacter*, a partir de un cultivo simbiótico conocido como SCOBY (Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast), con el fin de desarrollar materiales biodegradables tipo película. La fermentación se llevó a cabo durante dos semanas a 25 °C en oscuridad, utilizando una solución azucarada como fuente de carbono. Posteriormente, la capa de hidrogel formada fue extraída, purificada con NaOH 0.1 M y lavada con agua destilada caliente y fría. La CB obtenida se caracterizó mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), análisis termogravimétrico (TGA) y microscopía electrónica de barrido (SEM). En el espectro FTIR se identificaron señales correspondientes a los grupos funcionales característicos de la celulosa, como el grupo hidroxilo ( $\sim 3346\text{ cm}^{-1}$ ), enlaces C-O-C ( $\sim 1100\text{ cm}^{-1}$ ) y enlaces C-H ( $\sim 3000\text{ cm}^{-1}$  y entre  $1475\text{-}1365\text{ cm}^{-1}$ ), lo que confirma la estructura del biopolímero producido. El procedimiento demostró ser una alternativa efectiva para la obtención de CB

como subproducto de la fermentación tipo kombucha. Este material posee características estructurales que lo hacen adecuado para el desarrollo de productos con valor tecnológico y ambiental, aportando a la búsqueda de soluciones sostenibles en la industria de los materiales.

*Palabras clave:* kombucha, celulosa bacteriana, fermentación, cultivo simbiótico.

## Producción de hidrocarbón a partir de cuesco de palma como mejorador de suelo salino del departamento del Cesar (Colombia)

*Luis Rafael Rodríguez Aguirre, Cristian Mateo Ramírez Ocampo, José Evelio Mazo Zambrano, Dora María Carmona Garcés, Zulamita Zapata-Benabithé*

Universidad Pontificia Bolivariana

luisr.rodriguez@upb.edu.co, cristian.ramirezo@upb.edu.co, jose.mazo@upb.edu.co, dora.carmona@upb.edu.co, zulamita.zapata@upb.edu.co

### Resumen

La alta salinidad en los suelos es un problema capaz de alterar los ciclos biológicos, bioquímicos, hidrológicos y erosionables del planeta, así como afectar la agricultura, el uso del suelo y el bienestar de la humanidad. La salinización es un fenómeno que cubre 932.2 millones de hectáreas y representa una de las principales amenazas para la degradación de suelos, especialmente bajo el fenómeno del cambio climático. En 2015, el IDEAM reportó que en Colombia la degradación de suelos por salinización fue del 12.3 % (esto es, 14 041 883 ha), correspondiente a los suelos que se encuentran en las zonas costeras y llanuras de la región Caribe, en los valles interandinos y en las zonas costeras de la región del Pacífico.

En los departamentos de La Guajira, Atlántico, Magdalena, Sucre y Córdoba hay más de un 30 % de susceptibilidad alta a muy alta, y en el departamento del Cesar, un 27 % de su superficie está en susceptibilidad muy alta. Los suelos salinos se caracterizan por sus niveles elevados de sales solubles en agua, lo que afecta negativamente el desarrollo de los cultivos, pues en las plantas incrementa la presión osmótica, bloqueando la absorción adecuada de agua a través de las raíces y generando los efectos de deshidratación fisiológica. Por lo tanto, la mejora de los suelos salinos es de gran importancia para el desarrollo agrícola y la salud humana; de ahí que los biocarbones hayan demostrado tener un mayor efecto de mejora en suelos salino-alcalinos, debido a la riqueza de grupos funcionales en su superficie, que pueden absorber y mejorar la capacidad de retención de nutrientes. Este estudio tuvo como objetivo producir un material carbonoso a partir del cuesco de palma africana mediante un tratamiento hidrotermal, con el propósito de ser evaluados como mejoradores de suelos salinos del departamento del Cesar. El hidrocarbón se obtuvo en una autoclave de PPL de 80 ml a una relación 1 g cuesco de palma por 10 ml de agua. Se planteó un diseño de experimentos multivariable  $2^2$ , variando temperatura (180-230 °C) y tiempo de contacto (4-40 h) con un punto central completamente aleatorizado, y como variables de salida principales el área superficial específica, la conductividad eléctrica y el pH. El hidrocarbón obtenido a 230 °C durante 40 h fue seleccionado por su pH moderadamente ácido (4.8), alta área superficial específica (46 m<sup>2</sup>/g) y moderada relación O/C superficial (0.23), pues ello indica una adecuada funcionalización superficial para mejorar interacción con el suelo. La capacidad de retención de agua en el suelo se incrementó en un 2.7 % con diferentes concentraciones de hidrocarbón (0.5-2 %) en el suelo salino respecto al control. Estos resultados son prometedores, ya que representan una alternativa para

recuperar suelos degradados y fortalecer la sostenibilidad agrícola en regiones vulnerables del país.

*Palabras clave:* salinidad, suelo costero, materiales carbonosos, biomasa, tratamiento hidrotérmico.

## Síntesis de hidrotalcitas 3R y 2H en carbón activado y su aplicación en la remoción de contaminantes

*1Edinson Castellar Arroyo, 2Johana Rodríguez Ruiz, 1Edgardo Meza Fuentes*

<sup>1</sup>Universidad de Cartagena, <sup>2</sup>Sena-Centro para la Industria Petroquímica  
ecastellara@unicartagena.edu.co, ji.rodriguez@misena.edu.co,  
mezaf@unicartagena.edu.co

### Resumen

La presencia de contaminantes como sulfato, fosfato y diclofenaco en cuerpos de agua representa una amenaza para los ecosistemas y la salud humana. El sulfato, aunque naturalmente se encuentra en medios acuosos, las bacterias lo pueden transformar en sulfuro de hidrógeno, compuesto altamente tóxico y responsable, además, de la dureza permanente del agua. Por su parte, el fosfato, que es un nutriente esencial involucrado en funciones celulares, cuando aparece en exceso en cuerpos de agua, genera eutrofización, fenómeno que reduce el oxígeno disuelto y provoca la muerte de especies acuáticas. El diclofenaco, un fármaco antiinflamatorio de uso común, ha sido detectado en ecosistemas acuáticos como un contaminante emergente. Su estructura aromática halogenada es capaz de interferir con rutas bioquímicas fundamentales, como el ciclo de Krebs, afectando procesos vitales en organismos expuestos. Dada la creciente preocupación por estos contaminantes, se hace necesario desarrollar métodos de remoción eficientes. En este contexto, el uso de hidrotalcitas

calcinadas con efecto memoria representa una alternativa prometedora y sostenible para la remediación simultánea de estos compuestos en soluciones acuosas. La combinación de materiales del tipo hidrotalcita con materiales absorbentes (como el carbón activado) lleva a la obtención de materiales con un mayor poder de remoción de los contaminantes mencionados. En este estudio se sintetizaron hidrotalcitas en el interior de los poros de carbón activado. Estos materiales se caracterizaron por FTIR, TGA-DSC, DRX y medidas de área superficial específica por el método BET. La presencia de las hidrotalcitas 3R y 2H se verificó por espectrometría infrarroja y difracción de rayos X, observándose señales que indican las distorsiones que ocurren en el anión carbonato interlamilar, así como la disminución de la simetría D3h a C2v. De igual manera, se verificó que la presencia de la hidrotalcita 2H aumenta con el contenido del hidróxido doble lamilar dentro de los poros del carbón activado. Se encontró que el mayor porcentaje de remoción de sulfato, fosfato y diclofenaco se presentó a una concentración de 20 mg/L para sulfato, y de 100 mg/L para fosfato y diclofenaco con el sólido 5-HT-C, alcanzando un valor del 95 % de remoción para sulfatos, del 96 % para fosfatos y del 97 % para diclofenaco. Los estudios de cinética de adsorción de sulfatos y fosfatos mostraron una mejor aplicabilidad para el modelo de pseudosegundo orden; mientras que para el diclofenaco los datos se ajustaron mejor al modelo de pseudoprimer orden. Los estudios isotérmicos aplicados a la absorción por parte del sólido 5-HT-C indicaron que los datos de adsorción se correlacionan con el modelo de Langmuir para el sulfato y el fosfato; mientras que el de Freundlich interpreta de manera más eficiente la absorción del diclofenaco. El estudio termodinámico reveló que la adsorción de sulfato, fosfato y diclofenaco en 5-HT-C fue un proceso espontáneo a 298 K, y de naturaleza exotérmica.

*Palabras clave:* hidrotalcitas, sulfato, fosfato, diclofenaco, remoción, exotérmico.

## Obtención de un material compuesto a partir de fibra de fique (*Furcraea andina*) obtenida en el municipio de El Tambo y matrices poliméricas del departamento de Nariño (Colombia)

*Giovanny Zambrano Santacruz, Ángel Taquez Tello, Simón Alexander Puerchambud Chasoy, Angela Sofía Parra Paz*

Universidad Mariana

gizambrano@umariana.edu.co, tangel@umariana.edu.co,

simonal.puerchambud@umariana.edu.co, asparra@umariana.edu.co

### Resumen

Los materiales compuestos se caracterizan por tener tres fases distintas: una continua, llamada *matriz*; una discontinua, llamada *refuerzo*, e la *interfaz*, que corresponde a la superficie de la matriz y el refuerzo, y en la cual se dan diferentes interacciones físico-mecánicas. En los últimos años, ha crecido considerablemente la elaboración de este tipo de materiales compuestos, debido a sus diferentes aplicaciones y usos. En este tipo de materiales se han empleado fibras naturales que le conceden propiedades y bondades al material, además de su fácil acceso y bajo costo. El departamento de Nariño (Colombia) ha sido el mayor productor de fique, con aproximadamente 200 toneladas, lo cual permite su aprovechamiento. Por tal motivo, en esta investigación se obtuvo un material compuesto a partir de la fibra de fique obtenida en el municipio de El Tambo y una matriz polimérica (fibra vegetal, PET y cabello humano) del departamento de Nariño. La metodología usada en esta investigación implicó cinco etapas: 1) recolección de la fibra fique en El Tambo, el bagazo en Sandoná y el plástico tipo PET desechado en los puntos de recolección de las cafeterías de la Universidad Mariana y el cabello humano en la peluquería Alberto's en la ciudad de Pasto. 2) Proceso de desinfección y limpieza de la materia prima, adecuación, secado y reducción del tamaño de partícula, con el fin de aumentar

el área superficial. 3) Caracterización fisicoquímica de la materia prima vegetal (bagazo de caña y fibra de fique), por medio de ensayos como el contenido de humedad (%), cenizas (%), fibra cruda (%), lignina (%), holocelulosa (%), celulosa (%), hemicelulosa (%); además, caracterización teórica del plástico tipo PET. 4) Determinación de la relación porcentaje peso a peso de fibra lignocelulósica y matriz polimérica. Y 5) Elaboración del material compuesto. Las pruebas se llevaron a cabo por triplicado con 1 kg de muestra de cada materia prima analizada, siguiendo las normas establecidas por la AOAC para cada parámetro analizado. Los resultados de esta investigación han sido contrastados con diferentes referentes teóricos de la caracterización fisicoquímica, lo que sugiere que se necesitan más pruebas como el contenido de celulosa y lignina de las fibras vegetales, ya que estos compuestos aportan resistencia a las fibras vegetales. Las conclusiones parciales demuestran que es viable utilizar este tipo de residuos y fibras vegetales poco valoradas, para darles un valor agregado y reducir el impacto ambiental, generando materiales compuestos, que generalmente son de baja densidad y bajo costo. Además, los resultados de esta investigación llevan a futuras investigaciones, en cuanto a la creación de materiales innovadores que utilizan residuos que no son aprovechados y materiales de poco valor en el mercado, contribuyendo con la sostenibilidad de la región y generando un impacto positivo para el medio ambiente.

*Palabras clave:* materiales compuestos, fibra de fique, matriz polimérica, caracterización fisicoquímica.

---

## Fabricación de cubiertos aglomerados a partir del núcleo leñoso de la planta cáñamo industrial (*Cannabis sativa* L.)

*Stalin Luis Fabrizio Suntaxi Crisanto*

Universidad Central del Ecuador  
slsuntaxi@uce.edu.ec

### Resumen

El cáñamo industrial ha ganado popularidad por su capacidad para capturar carbono, mayor producción de biomasa y diversidad de productos finales. Este estudio tuvo como objetivo desarrollar un nuevo material compuesto o aglomerado a base de virutas de tallos secos de cáñamo industrial (*Cannabis sativa* L.) como material de relleno y un aglutinante conformado por proteínas vegetales; además, se realizaron ensayos de resistencia al impacto y tracción, junto con la evaluación de propiedades físicas como absorción de agua, grado de hinchazón y densidad aparente. El proceso de fabricación del aglomerado de cáñamo se basó en la elaboración de tableros aglomerados, considerando parámetros de proceso importantes como tamaño de partícula del material de relleno, aglutinantes, composición, temperatura y presión de curado. Los datos resultantes de las propiedades físicas y mecánicas provienen de análisis de varianza multifactorial y prueba de rangos múltiples, para determinar qué factores (variedad de cáñamo, tamaño de partícula y aglutinante) tienen efecto tanto en las propiedades físicas como en las mecánicas. De acuerdo con eso, el tamaño de partícula y el tipo de aglutinante tienen un impacto significativo en las propiedades de los aglomerados de cáñamo, mismo que destaca como material alternativo en la fabricación de cubiertos plásticos.

*Palabras clave:* cáñamo industrial, prensado, material compuesto, propiedades mecánicas, propiedades físicas, cubiertos aglomerados.

---

# Noble-Metal-Free Nanomaterials: Synthesis, Characterization, and Applications as Electrocatalysts for Environmental Remediation

*Esther Ramírez Meneses*

Universidad Iberoamericana  
esther.ramirez@ibero.mx

## Resumen

The pursuit of sustainable and efficient energy conversion technologies has positioned fuel cells as a promising solution for clean power generation. Central to their performance are electrocatalysts that facilitate key electrochemical reactions such as methanol oxidation and nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) electro-reduction. However, the reliance on noble metals like platinum and palladium presents significant economic and resource limitations, highlighting the urgent need for developing cost-effective, durable, and environmentally friendly alternatives. In this context, nanostructured transition metal-based electrocatalysts have garnered considerable attention due to their high surface area, tunable electronic properties, and potential for catalytic activity comparable to noble metals. The synthesis of such nanomaterials via a chemical method from coordination compounds in organic media offers precise control over composition, morphology, and size (<10 nm), which are critical parameters influencing catalytic performance. Our research emphasizes the importance of these synthesis techniques in designing efficient, noble-metal-free catalysts tailored for fuel cell applications. We propose a chemical synthesis approach using precursors such as Ni(acac)<sub>2</sub>, Co(acac)<sub>2</sub>, Cu(acac)<sub>2</sub>, Fe(acac)<sub>3</sub>, and Ce(acac)<sub>3</sub> in organic media in the presence of oleylamine or octylamine as stabilizers in situ carbon vulcan as support to produce a series of bimetallic and trimetallic nanostructures, including CuNi, CoFe, NiFe, NiFeCe, and CoFeCe. This

method involved controlled reduction process, resulting in well-dispersed nanomaterials (<10 nm) with tailored compositions. Characterization techniques were employed to analyze these nanomaterials. X-ray diffraction (XRD) confirmed their crystalline phases and alloy formation. Transmission electron microscopy (TEM) revealed their nanoscale size and morphology, while surface composition and oxidation states were examined through X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) for some of these materials, providing insights into the active surface species. These nanostructured materials are expected to be excellent candidates as electrocatalyst towards methanol electro-oxidation reaction and NO<sub>x</sub> gases electro-reduction, two reactions of importance in fuel cell technology and environmental remediation. The synergistic interactions among the transition metals and in some cases a rare earth could enhanced electron transfer processes and catalytic efficiency, highlighting the potential of these materials as noble-metal-free electrocatalysts. This research emphasizes the critical role of chemical synthesis methods in developing nanomaterials with tailored properties for energy applications. These transition metal-based catalysts in key electrochemical reactions covers the way for more sustainable, cost-effective fuel cell technologies. Further improvement and understanding of structure-activity relationships will be essential to translate these findings into scalable solutions that address the global demand for clean energy and pollution mitigation. In conclusion, the strategic design and synthesis of nanometric transition metal alloys via chemical methods offer a promising pathway toward noble-metal-free electrocatalysts. Their application in fuel cells for methanol electro-oxidation and NO<sub>x</sub> electro-reduction not only advances energy conversion efficiency but also contributes to environmental sustainability by reducing reliance on scarce resources.

*Palabras clave:* synthesis, noble-metal-free electrocatalysts, fuel cells.

## Valorización integral del grafito residual de baterías de ion-litio desechadas para la obtención de materiales carbonosos tipo grafeno

*Santiago Bedoya Betancur, Erasmo Arriola-Villaseñor,*

*Melissa Arango Álvarez, Alba N. Ardila A.*

Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

santiago\_bedoya27081@elpoli.edu.co, erasmoarriola@elpoli.edu.co,

melissa\_arango64232@elpoli.edu.co, anardila@elpoli.edu.co

### Resumen

Las baterías ion-litio (BIL) gastadas generan riesgos ambientales debido a su contenido de metales tóxicos; sin embargo, su alto contenido de grafito las convierte en un residuo valorable para la obtención de materiales carbonosos. En este estudio se evaluó la producción de grafeno mediante exfoliación en fase líquida asistida por sonicación, utilizando agua desionizada como disolvente y dos fuentes de grafito: una recuperado de BIL gastadas y otra de baterías comerciales. Se empleó un procesador ultrasónico de 750 W y 20 kHz, con amplitudes de sonicación entre el 50 % y el 80 % durante 2 h, manteniendo una temperatura constante de 45 °C. Las dispersiones resultantes se dejaron en reposo durante 24 h a temperatura ambiente para permitir la separación natural por fases entre las fracciones decantada y dispersa. Posteriormente, estas fracciones se secaron y pesaron para determinar el rendimiento de exfoliación. La formación de grafeno se confirmó tanto en las fracciones suspendidas como en las decantadas a 80 % de amplitud, mediante técnicas de caracterización complementarias como UV-Vis, espectroscopía Raman, HRTEM y DRX. Se obtuvo exitosamente grafeno en ambas fracciones; no obstante, los porcentajes en ambas difieren significativamente. Además, el grafeno obtenido en la fracción sedimentada (3 capas, más hidrofóbico, 4.81 m<sup>2</sup>/g, ángulo de contacto de 21.5°) discrepa en algunas de sus características fisicoquímicas,

en comparación con la fracción dispersada (2 capas, menos hidrofóbico,  $14.75 \text{ m}^2/\text{g}$ , ángulo de contacto de  $13.9^\circ$ ). Este enfoque innovador no solo aporta una ruta alternativa para la producción de grafeno, sino que también complementa las investigaciones existentes, al proporcionar información clave sobre la influencia de la amplitud de sonicación en la exfoliación del grafito reciclado. Además, amplía el conocimiento actual sobre la fracción sedimentada, la cual ha sido inexplorada en gran medida. Estos resultados pueden servir de referencia para futuras investigaciones sobre la recuperación de grafeno a partir de residuos electrónicos y el desarrollo de técnicas de producción más sostenibles y rentables.

*Palabras clave:* baterías de ion-litio desechadas, exfoliación en fase líquida, ultrasonido, grafeno.

## Pt Nanoparticles Decorated CdS with Improved Photocatalytic Performance

*1Rafael Meza-Enríquez, 1María de los Ángeles Hernández-Pérez, 2Esther Ramírez-Meneses, 3Arturo Manzo-Robledo*

<sup>1</sup>Instituto Politécnico Nacional, ESIQIE, <sup>2</sup>Universidad Iberoamericana,

<sup>3</sup>Instituto Politécnico Nacional, SEPI.

meza.raen@gmail.com, mahernandezpe@ipn.mx, esther.ramirez@ibero.mx, amanzor@ipn.mx

### Resumen

In recent years, research and development of green energy technologies have surged in response to environmental global crisis; among them, hydrogen energy production technology is one of the protagonists. Due to the Pt intrinsic properties, Pt-based catalysts are among the most studied materials for photodegradation of pollutants such as naphthalene,

antibiotics, insecticides, and dyes. However, the focus is on hydrogen production and the generation of valuable chemicals. The heterojunctions of Pt nanoparticles (NPs) with numerous semiconductors have shown excellent photocatalytic performance under UV, visible, and solar light irradiation. CdS is one of the most attractive photocatalysts because of its low cost, high absorption of visible light, and excellent catalytic activity. In addition, the valence and conduction bands of CdS are in a suitable position for water splitting. The decoration of CdS with Pt NPs has improved its photocatalytic performance by avoiding the recombination of charge carriers. In this work, we synthesized Pt NPs from  $\text{Pt}_2(\text{dba})_3$  as precursor on the surface of CdS powders. The decoration of CdS by  $\text{Pt}_2(\text{dba})_3$  in nominal Pt weight percent of 5 and 10 was performed at room temperature for 20 h under  $\text{H}_2$  atmosphere and employing octylamine as a stabilizer and tetrahydrofuran anhydrous as a solvent. The product was purified with pentane anhydrous under  $\text{N}_2$  atmosphere. CdS powders were obtained by a simple chemical precipitation at  $75^\circ$  for 2 h employing 0.33 M thiourea and 0.1 M  $\text{CdCl}_2$  solutions in an  $\text{NH}_4\text{OH}$  media (pH = 10.5). The powders were filtered and profusely washed with deionized water. X-ray diffraction patterns indicate predominant crystallization of CdS powders in zinc-blende structure over wurtzite. XRD analysis of as-obtained Pt NPs decorated CdS exhibit no reflections of Pt NPs. However, scanning electron microscopy of this material evidence the formation of Pt NPs measuring 10-15 nm at the surface of CdS. Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) analysis confirmed that the as-synthesized materials contained 1.3 and 15.08 wt% of Pt for nominal weights of 5 and 10 units of Pt, respectively. Optical properties analysis reveals the diminution of band gap energy of Pt NPs decorated CdS powders as Pt wt% increases, varying from 2.35 to 2.05 eV. The photoelectrochemical tests performed in  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  electrolyte with Ag/AgCl as reference electrode and a glassy carbon counter electrode indicate the increase of cathodic current density as Pt NPs increases, also

linear sweep voltammetry registered under solar-simulated illumination shows strong increase of anodic current density due to Pt NPS decoration of CdS. DEMS analyses evaluated with 1M HNO<sub>3</sub> indicated that the electrolyte was degraded in N, NH<sub>3</sub>, and H<sub>2</sub>. Thus, the in situ organometallic method was successfully employed for the decoration of CdS with Pt nanoparticles. Pt NPs decorated CdS materials have photocatalytic activity under solar-simulated illumination for producing valuable cathodic products.

*Palabras clave:* Pt nanoparticles, Pt-NPs decorated CdS, synthesis, photocatalyst.

## Estimating the Physical Properties of Components at High Pressures Generated by Nanobubbles in Liquid Hydrocarbon Fuels

*1Krishnaswamy Rajagopal, 2Rogerio Fernandes de Lacerda*

1Federal University of Rio de Janeiro, LATCA-UFRJ, 2Universidade Federal Fluminense  
raja@eq.ufrj.br, rogeriolacerda@id.uff.br

### Resumen

The urgency to decarbonize industrial production is leading us to consider processes operating near ambient temperatures, which exhibit high thermal efficiency as they dissipate less energy. Many of these processes use nanoparticles or nanobubbles in chemical reactions, either for catalysis or to enhance local pressures by several orders of magnitude. The throughput is limited only by the mass transfer of key components through dissolution and diffusion to and from the reaction front. The solubility of the substrate in the fluid surrounding the nanobubble is a function of pressure, temperature, and fluid composition. Oxygen, nitrogen, carbon dioxide, and water

vapor are key components in the oxidation of hydrocarbon fuels, and their solubility in hydrocarbons determines the efficiency of energy production in many innovative projects. In the design of upstream and downstream processes for pre-salt petroleum production and refining, it is necessary to estimate the solubility of these solutes in higher alkanes—from n-octane to n-hexacosane—typically represented by n-hexadecane (cetane). The objective of this work is to compare methods for determining the solubility of these solutes in cetane at high pressures using available experimental data. We correlate the experimental solubility measurements for each substrate with phase equilibrium calculations, using either an equation of state recommended in the literature or statistical methods, to obtain the solubility at the desired pressure and temperature. For the substrate oxygen, we use the Peng-Robinson equation of state (PR EOS 76), estimating the binary interaction parameter [k12, oxygen (1)-n-hexadecane (2)] from available experimental solubility data. For nitrogen, we used literature correlations based on experimental data. The estimates from these correlations were compared with predictions from the PR EOS 76, and the deviations were within the experimental error. For carbon dioxide, we correlated available high-pressure data and estimated the solubility at the desired pressures. In the case of water vapor, we applied Henry's law to obtain the solubility of water vapor in n-hexadecane within the pressure range relevant to nanobubbles with diameters less than 5 nm. The Henry's constant is estimated from experimental values at atmospheric pressure. We are currently measuring the solubility of carbon dioxide in n-hexadecane at high pressures for direct comparison with the estimates.

*Palabras clave:* solubility at high pressures, Laplace pressure from nanobubbles, low temperature oxidation of liquid hydrocarbons, estimation of solubility in cetane.

---

## Sustainable Electro-Reduction of NO<sub>x</sub> Emissions: Synthesis and Application of bimetallic Nanomaterials

*1Eleazar Castañeda-Morales, 1Arturo Manzo-Robledo,*

*2Esther Ramírez Meneses, 2Alfonso Cruz-Ramírez,*

*2Rubén Vásquez-Medrano, 2Carlos Juárez-Balderas*

1Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, Laboratorio de Electroquímica y Corrosión,

2Universidad Iberoamericana

eleazarcasm@gmail.com, amanzor@ipn.mx, esther.ramirez@ibero.mx,

alfonso.cruz@ibero.mx, ruben.vasquez@ibero.mx, carlos.juarez@ibero.mx

### Resumen

Nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) are among the most significant pollutants generated by combustion processes in industrial activities, transportation, and power generation. These gases contribute to environmental issues such as acid rain, smog formation, and respiratory problems in humans. Traditional methods for NO<sub>x</sub> reduction, such as catalytic converters and selective catalytic reduction (SCR), often involve high energy consumption and the use of hazardous chemicals, prompting the urgent need for more sustainable and efficient solutions. Electro-reduction of NO<sub>x</sub> presents a promising alternative, offering a clean, energy-efficient, and environmentally friendly approach to mitigate NO<sub>x</sub> emissions. This process involves converting NO<sub>x</sub> gases into nitrogen, ammonia and other value-added compounds using electrochemical reactions, ideally powered by renewable energy sources. The development of effective electrocatalysts is crucial to enhance the efficiency, selectivity, and durability of this process. In this context, nanomaterials have garnered significant attention due to their high surface area, tunable properties, and catalytic activity. In our research, we synthesized nanomaterials via a chemical method using precursors such as Cu(acac)<sub>2</sub>, Ni(acac)<sub>2</sub>, and La(acac)<sub>3</sub> in organic media. These precursors were combined

in different weight ratios to produce bimetallic CuNi and CuLa nanostructures on Vulcan carbon as support. The synthesis involved a controlled chemical reduction process, resulting in well-dispersed nanoparticles with tailored compositions. The synthesized nanomaterials were extensively characterized using various techniques. Transmission electron microscopy (TEM) revealed their nanoscale size and morphology, while X-ray diffraction (XRD) confirmed their crystalline phases. Surface analysis through X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) provided insights into the oxidation states and surface composition. The electrochemical performance of these nanomaterials was evaluated as electrocatalysts for NO<sub>x</sub> reduction in aqueous media. Cyclic voltammetry (CV) measurements demonstrated the activity of the as-synthesized nanostructures. The enhanced performance is attributed to synergistic effects among the involved elements, which improve electron transfer and catalytic sites. Our findings highlight the capability of these nanomaterials as sustainable electrocatalysts for NO<sub>x</sub> reduction. Their high activity, stability, and tunable composition make them promising candidates for integration into electrochemical devices aimed at reducing NO<sub>x</sub> emissions. This approach aligns with global efforts to develop greener technologies for pollution control, leveraging nanotechnology and electrochemistry. In conclusion, the electro-reduction of NO<sub>x</sub> using tailored nanomaterials synthesized from coordination compounds as precursors offers a viable alternative to conventional methods. Continued research into optimizing these nanocatalysts could pave the way for sustainable solutions to combat NO<sub>x</sub> pollution and contribute to cleaner air and a healthier environment.

*Palabras clave:* NO<sub>x</sub> electro-reduction, Cu-based nanostructures, electrocatalysts.

---

## Reingeniería química en industria de los materiales cerámicos marco estratégico/ecológico siglo XXI

*Zhuzhell Rejasv*

Miembro activo del CIQB/AICHE/Consultoría Industria de Materiales Cerámicos-Bolivia, Brasil, Colombia (SA), Italia-Europa, Gestión Industrial y de Recursos Humanos en plantas industriales e ingeniería química, diversas universidades y países  
zhuzhellrejasv@ciqb.org

### Resumen

La reingeniería química de investigación científica y tecnológica (REIQICT) se realiza en planta de producción industrial, a través de procesos de cambio o transformación de materias primas para productos cerámicos (RIQPCTMPC) con una metodología dinámica-ZR *in situ*, en un marco estratégico ecológico —por ende, innovador y competitivo—, realizando procesos efectivos:  $E = f(E + E)$ , sostenidos y sustentables (SS). La RIQPCTMPC es un diseño o un rediseño rápido de los procesos estratégicos (PE) de un valor agregado al *nuevo producto cerámico de cochura rápida a gas*, previamente diseñado en planta de producción y comercialización local, regional o exportación. El proceso productivo industrial se realiza en planta industrial, con procesos de monocochura rápida (30, 40 o 60 min) y bicochura/vidriados, previas pruebas del diseño de las pastas cerámicas y productos terminados (control de calidad/bajo porcentaje de reciclaje en todo el proceso), según normas internacionales (UNI EN o ASTM), listo para empaque y comercialización. Entre las conclusiones relevantes de nuestra experiencia en la REIQPCER, para nuevas gestiones y experiencias con resultados innovadores *in situ*, están el uso inicial de materias primas de la región o país más próximo y el proceso innovador de cochura rápida, método ecológico (Italia), que permite obtener productos de alta calidad y a bajo

precio para Bolivia, y alta calidad y precio mercado para su exportación.

*Palabras clave:* reingeniería química, procesos productivos cerámicos, cochura rápida, ZR.

---

## Industrias de procesos, nuevos procesos innovadores, intensificación de procesos

La industria de procesos entra en una etapa de diseño para descarbonizar, digitalizar y flexibilizar. Innovar ya no es solo crear rutas nuevas, sino reconfigurar operaciones para producir más valor por unidad de energía, tiempo y huella. La intensificación de procesos (PI) —microrreactores, separaciones híbridas (membranas + destilación), reactivo-separación (destilación/absorción reactivas), transferencia de calor masiva, electrificación (óhmico/inductivo) y biorreactores continuos— permite acortar trenes, bajar severidades y mejorar la selectividad, con *capex/opex* y emisiones menores. Integrada con gemelos digitales, control avanzado y seguridad inherente, la PI habilita plantas modulares y escalables, resilientes a variaciones de insumo, demanda y clima. El resumen de los trabajos presentados son descritos a continuación.

## Análisis del proceso de pirólisis de policloruro de vinilo (PVC) mediante simulación en estado estacionario

*<sup>1</sup>Darien de Jesús Rivera Osorio, <sup>1</sup>Jesús David Negrete Martínez, <sup>1</sup>Sheila Michelle Ortega Rodríguez, <sup>2</sup>Henry Adolfo Lambis Miranda, <sup>3</sup>Juliana Puello Méndez*

<sup>1</sup>Semillero de Investigación en Procesos, Modelamiento Matemático y Simulación (SIMMYS), <sup>2</sup>Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, <sup>3</sup>Universidad de San Buenaventura (sede Cartagena)  
d3203374372@gmail.com, jesusdavidnegrete@hotmail.com, smortegar@miusbctg.edu.co, henry.lambis@tecnologicocomfenalco.edu.co, jpuello@usbctg.edu.co

### Resumen

En la actualidad, la generación y la acumulación constante de desechos sólidos de plástico compuestos por policloruro de vinilo (PVC) plantean desafíos ambientales, debido a la falta de un enfoque para evaluar los residuos urbanos. Técnicas como el reciclaje mecánico y el reciclaje termoquímico permiten recuperar energía y el uso eficiente de los recursos plásticos, como una de las alternativas para hacer frente a este problema. El objetivo principal de este proyecto es proporcionar herramientas por medio de las cuales evaluar la capacidad y el rendimiento de los procesos de pirólisis y gasificación aplicados al PVC para obtener hidrógeno. Se utilizó el *software* de simulación Aspen Plus®, a fin de establecer condiciones como una presión de 1 atm y una temperatura superior a los 300 °C para el proceso de pirólisis y una presión de 5 atm y una temperatura de 1000 °C para el proceso de gasificación. Según los resultados, es viable obtener un rendimiento del 34.79% de hidrógeno mediante la gasificación del PVC y aprovechar esta materia prima. Se identificaron interacciones significativas entre las variables predefinidas, y el análisis de sensibilidad destacó el impacto significativo de estas interacciones en la producción de hidrógeno a partir del PVC. El poder calorífico del PVC indicó la posibilidad de obtener

productos en estado gaseoso y subrayó la aplicabilidad potencial de la pirólisis y gasificación como opciones para la gestión sostenible de residuos plásticos de PVC. Además, se sugirió la exploración de la fracción gaseosa como fuente adicional de energía, ya sea precalentando la alimentación del reactor o evaluando el gas no condensable con contenido de metano como posible combustible. En conclusión, los hallazgos de esta investigación respaldan la viabilidad y el potencial de la pirólisis y gasificación del PVC como soluciones prometedoras para la obtención de hidrógeno y la gestión sostenible de los residuos plásticos de PVC.

*Palabras clave:* PVC, pirólisis, gasificación, simulación de procesos, producción de gas de síntesis.

## **Análisis del proceso de recuperación de propileno y 1-buteno en la producción de homopolímeros y terpolímeros**

*<sup>1</sup>Juliana Puello Méndez, <sup>2</sup>Elmis Eliécer Cabrera Jiménez,  
<sup>1</sup>José Julio Sandoval Martínez, <sup>3</sup>Ana Milena Gaviria Vega*

1Universidad de San Buenaventura (sede Cartagena), 2Esenttia, 3Secretaría Distrital de Educación  
jpuello@usbctg.edu.co, elmis.cabrera@esenttia.co, jjsandovalm@miusbctg.edu.co, anamilenagaviria@hotmail.com

### **Resumen**

La industria de los empaques plásticos evoluciona constantemente de acuerdo con los desafíos que surgen a raíz de los cambios en las políticas ambientales en el mundo. Por esta razón, los entes dedicados a este campo desarrollan investigaciones para garantizar la eficiencia e integridad de los productos empacados con homopolímeros y terpolímeros, y así ofrecer soluciones sostenibles para la humanidad. Algunas empresas de polímeros han desarrollado o implementado tecnologías

para producir homopolímeros y terpolímeros, mediante la polimerización de tres monómeros diferentes (etileno, buteno y propileno) en un reactor agitado de fase gaseosa, con la tecnología de procesos NOVOLEN®. Esta última permite obtener un producto de alta calidad en la temperatura inicial de sellado e índice de opacidad en los empaques plásticos. En esta investigación se estudió el proceso de obtención del homopolímero y terpolímero a partir de propileno (materia prima principal), etileno y buteno, para mejorar la recuperación de propileno y 1-buteno. Se siguió una heurística de diseño con base en los fundamentos de las operaciones unitarias, y para tal fin se realizaron tres fases de trabajo: 1) caracterización de las corrientes de alimentación en el tren de recuperación, 2) pruebas en DCS de la planta en delta V del tren de recuperación de gases y 3) propuesta de diseño para el sistema de control mediante LabVIEW. A partir de los resultados, se compararon la filosofía de operación y las lógicas de comandos, lo cual permitió implementar una heurística de diseño fundamentada en estrategias de mejora del sistema de control de la unidad de recuperación en el proceso de producción de homopolímeros y terpolímeros.

*Palabras clave:* poliolefinas, homopolímeros, terpolímero, procesos de separación, heurística de diseño.

---

## Intensificación de procesos en mipymes colombianas: innovación en economía circular para la ciclabilidad de materiales plásticos

*José Alejandro Martínez S., Érika Vanesa Cruz Silva, Diana Cristina Fuertes Torres, Natalia Ivón Prado Rodríguez*

Universidad Ean

[jmartinez@universidadean.edu.co](mailto:jmartinez@universidadean.edu.co), [ecruzsi19925@universidadean.edu.co](mailto:ecruzsi19925@universidadean.edu.co),

[dfuerte44474@universidadean.edu.co](mailto:dfuerte44474@universidadean.edu.co),

[nprador62706@universidadean.edu.co](mailto:nprador62706@universidadean.edu.co)

### Resumen

La transición hacia una economía circular representa un desafío y una oportunidad para las mipymes del sector manufacturero en Colombia. Este estudio, basado en los resultados del proyecto ECOS 2.0, explora cómo tres empresas (Biocírculo SAS, Occiplast SAS y Plásticos Ambientales SAS) han implementado procesos innovadores para la ciclabilidad de materiales plásticos. El proyecto ECOS 2.0, liderado por la Universidad Ean con apoyo del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo e iNNpulsa Colombia, busca fortalecer la sostenibilidad empresarial mediante diagnósticos financieros, ambientales y sociales, así como la ejecución de proyectos innovadores en municipios con programas de desarrollo con enfoque territorial (PDET). La investigación se centra en la intensificación de procesos industriales a través de estrategias como el ecodiseño, el uso de resinas recicladas y la optimización energética. Se analizan los avances tecnológicos adoptados por las empresas, incluyendo el desarrollo de *pellets* PEAD y bolsas plásticas sostenibles, así como las barreras enfrentadas, como las limitaciones normativas y el acceso restringido a tecnologías avanzadas. Además, se evalúa el impacto social generado por estas iniciativas, destacando la inclusión de municipios PDET y la generación de empleo. El marco conceptual incluye una revisión del contexto normativo

colombiano (ENEC y Conpes 3866) y un análisis comparativo con tecnologías internacionales observadas durante una misión académica en Tecnocampus (España). A partir de estos hallazgos, se proponen estrategias para superar barreras y optimizar los procesos circulares en las mipymes colombianas. Los resultados evidencian que la implementación de procesos innovadores intensificados puede mejorar significativamente la sostenibilidad empresarial y contribuir al desarrollo local. Este estudio subraya la importancia de fortalecer el marco institucional y fomentar alianzas estratégicas para consolidar la economía circular en el sector manufacturero colombiano.

*Palabras clave:* economía circular, intensificación de procesos, innovación industrial, ciclabilidad de materiales.

## **Análisis y mejora del desempeño de un sistema de refrigeración industrial: simulación y evaluación de estrategias de optimización**

*<sup>1</sup>María Fernanda Gamarra Rodríguez, <sup>2</sup>Miguel Enrique Ramos Olmos, <sup>1</sup>Juliana Puello Méndez, <sup>1</sup>Carminé Fusaro, <sup>1</sup>Israel Suárez Bello*

1Universidad de San Buenaventura (sede Cartagena), 2Especialista en asesoría-procesos industriales  
mfgamarrar@miusbctg.edu.co, parabenceno@gmail.com,  
jpuello@usbctg.edu.co, carmine.fusaro@usbctg.edu.co,  
isuarezb@miusbctg.edu.co

### **Resumen**

Los sistemas de refrigeración en las plantas industriales desempeñan un papel fundamental en la operación de procesos industriales porque usan sus recursos energéticos. En condiciones de baja demanda de necesidades de enfriamiento, estos sistemas generan consumos excesivos de energía, los

cuales impactan en los costos de operación e indicadores de proceso. Las estrategias de mejora se centran en la reducción de consumos energéticos y en optimizar el control operativo. Investigaciones recientes destacan la importancia del uso de sistemas de recuperación de calor y tecnologías de compresión con velocidad variable para el ajuste de la carga térmica de manera dinámica, donde la modelización matemática previa ayuda a evaluar el impacto de variables operacionales en la eficiencia, así como los modelos termodinámicos permiten el estudio del ciclo de refrigeración y su interacción con los intercambiadores de calor, siendo validados los resultados obtenidos con datos experimentales. En este proyecto de investigación se profundizó en un caso de estudio de una planta de procesos químicos con un sistema de refrigeración por compresión de R-717 (amoníaco) para el cual se realizaron simulaciones y se plantearon tres soluciones de ingeniería, con el fin de analizar el potencial de mejora técnica y económicamente viable. Para ello se estableció una metodología de análisis multicriterio por pesos ponderados. Las mejoras exploradas consisten en implementar: 1) sistemas de variación de velocidad en equipos rotativos, 2) un lazo de control avanzado de flujo con rango dividido por relación de flujos en un intercambiador de calor y 3) en simultánea, las dos alternativas previas. Se concluye que la solución más viable permite reducir los consumos energéticos con los sistemas de variación de velocidad en equipos rotativos y el lazo de control avanzado de flujo con rango dividido por relación de flujos en un intercambiador de calor, que incrementa la eficiencia del sistema al 94.8 % de la eficiencia base del sistema a demanda completa.

*Palabras clave:* presión de amoníaco (R-717), simulación y modelado, optimización de procesos.

---

## Factibilidad económica del acople de los mecanismos de dilución y calentamiento para mejorar el transporte de crudos pesados en líneas de tuberías

<sup>1</sup>Ana Milena Gaviria Vega, <sup>2</sup>Elena María Romero Zafra,  
<sup>3</sup>Alba Nubia Giraldo Molina, <sup>4</sup>José Daniel Marín Batista,  
<sup>2</sup>Juliana Puello Méndez, <sup>2</sup>Alexandra Lucía Moreno Medina

<sup>1</sup>Secretaría Distrital de Educación, <sup>2</sup>Universidad de San Buenaventura (sede Cartagena), <sup>3</sup>Especialista en asesoría-procesos industriales, <sup>4</sup>Universidad Autónoma de Madrid  
anamilenagaviriavega@hotmail.com, elenamaria940406@hotmail.com,  
agiraldomolina@gmail.com, jose.marin@inv.uam.es, jpuello@usbctg.edu.co,  
almorenom@miusbctg.edu.co

### Resumen

El transporte de los crudos pesados es un proceso desafiante, debido a la baja movilidad y altas viscosidades; a la precipitación de parafinas y asfaltenos; a la proporción de componentes de alto peso molecular; al alto contenido de azufre, sales y metales; al incremento en el contenido de agua de formación y grandes problemas de corrosión. Todas estas dificultades operativas limitan su viabilidad económica. El objetivo de este trabajo fue determinar la factibilidad económica del acople de los mecanismos de dilución (nafta, tolueno, N-heptano, metanol) y calentamiento para mejorar el transporte de crudos pesados en líneas de tuberías usando la metodología de superficie de respuesta, donde la relación funcional entre las variables de respuestas (costos y viscosidad) y las variables independientes (temperatura y porcentaje de dilución) se obtuvieron con base en los coeficientes del modelo de regresión de segundo orden. La base de datos necesaria para la realización de las gráficas de respuestas en Minitab 17 se obtuvo por medio de la simulación del transporte de crudo pesado en Aspen HYSYS. Finalmente, se decidió realizar un acople de los métodos de reducción de viscosidad antes mencionado,

para rebajar la cantidad de solvente mínimo y la cantidad de energía térmica requerida.

*Palabras clave:* crudos pesados, transporte de crudo, viscosidad, optimización de procesos.

## Assessment of Betaine-based Deep Eutectic Solvents in the Delignification Process of Eucalyptus Wood Chips

*Pedro Henrique Gomes de Aquino, Mariana Conceição da Costa*

Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)  
p217203@dac.unicamp.br, mcdcosta@unicamp.br

### Resumen

Deep Eutectic Solvents (DES) are gaining increasing attention as sustainable alternatives to conventional solvents in industrial processes, owing to their low environmental impact, tuneable properties as designer solvents, and ability to dissolve complex biomolecules, such as lignin. The extraction of lignin from plant biomass remains a significant challenge in the development of greener lignocellulosic biorefineries, as traditional methods often degrade lignin to such an extent that its valorisation becomes limited. While studies report high delignification yields for various lignocellulosic biomasses using choline chloride-based DES (ChCl-DES), other studies indicate that the presence of water in the process can significantly reduce the ability of these DES to dissolve lignin. In the context of *Eucalyptus* sp. processing in pulp and paper industries, the moisture content inherent to the wood, as result of its cultivation and storage conditions, may hinder the delignification of wood chips with ChCl-DES under industrial conditions. Alternatively, DES derived from amino acids, such as Betaine, exhibit enhanced solvation of lignin

when water is present to a certain extent. This study aims to evaluate the application of Betaine-based DES (Be-DES) on the delignification of *Eucalyptus urograndis* wood chips. The study begins by estimating the eutectic composition of candidate DES formulations, as phase properties for some of the studied Be-DES (Be/EG, Be/But, Be/MA and Be/MaloA; ethylene glycol, 1,4-butanediol, malic acid and malonic acid respectively) are scarce and difficult to obtain. A screening phase was conducted using these and three additional Be-DES (Be/LA, Be/CA and Be/OA; lactic acid, citric acid and oxalic acid, respectively) to delignify wood chips for 14 hours, agitated in Dubnoff bath at 90 °C. A designed experiment was then conducted using the two highest delignification yields from the previous phase, Be/LA and Be/CA, varying solid-to-liquid ratio (RS/L), moisture content (MC) and temperature (T) to understand the impact of these operational conditions in the lignin extraction. Results indicate that the delignification of *Eucalyptus* chips are highly dependent on transport properties of the Be-DES, which are influenced by the studied variables. Temperature and moisture content have a significant effect on the delignification using Be/CA, a highly viscous solvent, while the interaction between temperature and RS/L has the largest effect when using Be/LA, a less viscous solvent. For Be/LA, moisture content has a negative effect on lignin extraction.

*Palabras clave:* delignification, Deep Eutectic Solvents (DES), lignocellulose, sustainable biorefining.

---

## Evaluación técnica, económica y ambiental en el proceso de extracción de los compuestos bioactivos en los residuos del procesamiento de la lúcuma

*Fredy Vicente Huayta Socantaype, Marco  
Gusukuma, Fiorella Cárdenas Toro*

Pontificia Universidad Católica del Perú  
fhuayta@pucp.edu.pe, mgusukuma@pucp.edu.pe, fcardenas@pucp.edu.pe

### Resumen

La reutilización de residuos agroindustriales, especialmente en la extracción de compuestos bioactivos, ha ganado relevancia. Los desechos del procesamiento de la lúcuma representan una oportunidad para aprovecharlos. La tecnología de fluido supercrítico (FSC) se emplea como un método eficiente y limpio para extraerlos. Este estudio evalúa el impacto técnico, económico y ambiental de implementar la FSC en la extracción de compuestos bioactivos de los residuos de lúcuma, con enfoque en su viabilidad industrial a gran escala. La investigación se centró en extraer compuestos bioactivos de los residuos de lúcuma usando dióxido de carbono supercrítico, ajustando parámetros como presión, temperatura y flujo para optimizar el rendimiento. Además, se utilizó el *software* Super Pro Designer v. 10 para un análisis técnico, económico y ambiental, con el objetivo de modelar y optimizar el proceso a escala industrial. La extracción de aceite de lúcuma alcanzó un rendimiento máximo del 2.84 % a 312 atm de presión y 45 °C. El perfil de ácidos grasos mostró que los más abundantes fueron ácido linoleico (32.85 %), oleico (33.16 %), palmítico (16.79 %) y esteárico (12.78 %). Desde el punto de vista económico, la comercialización de los subproductos del procesamiento de la lúcuma es rentable. La construcción de una planta con capacidad de procesamiento de 1750 kg/Batch requeriría una inversión inicial de \$6 361 000 y un costo operativo anual de \$3 761 000. Esta infraestructura estimaría un

margen de ganancia del 43.57 %, un retorno de inversión del 31.95 %, un tiempo de recuperación de capital de 3.13 años y una tasa interna de retorno del 24.77 %. El valor actual neto de la inversión es de \$8 604 000 a una tasa de descuento del 7 %. Sin embargo, algunos productos se comercializan por debajo de su costo de producción, lo que indica la necesidad de agregar valor para maximizar los beneficios. En términos de impacto ambiental, el proceso de extracción del aceite muestra un impacto moderado. El factor E es 2.07, lo que indica que la gestión de residuos es ineficiente, ya que no se reutilizan ni reciclan. La eficiencia atómica, idealmente cercana a uno, muestra que el proceso no maximiza la integración de insumos en el producto final ni comercializa los residuos generados de manera óptima. Además, el rendimiento de masa efectiva es de 3.07, lo que significa que de cada 3.07 kg de materia prima, solo 1 kg se convierte en producto, y el resto es desperdicio. La productividad de la masa es del 32.5 %, indicando que solo una tercera parte se transforma en producto final. En conclusión, la extracción de compuestos bioactivos de los residuos del procesamiento de la lúcumo utilizando dióxido de carbono supercrítico es una excelente oportunidad para la valorización de subproductos agroindustriales, con un impacto económico positivo y beneficios ambientales significativos. Sin embargo, es esencial optimizar los costos y mejorar el valor agregado para maximizar la rentabilidad y los beneficios ambientales a largo plazo.

*Palabras clave:* extracción de la lúcumo con tecnología de fluido supercrítico, evaluación técnica y económica, compuestos bioactivos, evaluación ambiental.

---

## Escalado del proceso de purificación de la vacuna antirrábica humana mediante cromatografía líquida preparativa

*María Priscila Almario Falla, Santiago Caicedo*

Empresa Colombiana de productos Veterinarios Vecol S. A.  
maria.almario@vecol.com.co, prof.bioprocesos@vecol.com.co

### Resumen

El fortalecimiento de la investigación y el desarrollo en la producción de vacunas humanas es fundamental para Colombia, dados la reducción de la dependencia del suministro internacional, la garantía de acceso equitativo a la población, el aumento de la capacidad de respuesta ante emergencias en salud pública, el impulso al avance tecnológico y científico, y el aporte al desarrollo económico. Entre las enfermedades que requieren especial atención se encuentra la rabia, la cual sigue siendo un problema de salud pública. Según la Organización Mundial de la Salud, esta enfermedad es responsable de aproximadamente 59 000 muertes al año en el mundo, afectando principalmente a comunidades rurales de países en desarrollo. A pesar de los esfuerzos en vacunación animal, la rabia continúa representando una amenaza constante, en especial en regiones con acceso limitado a inmunización y tratamiento posexposición. Uno de los principales desafíos en el desarrollo de vacunas humanas es el escalado del proceso de purificación bajo lineamientos de buenas prácticas de manufactura, con el fin de garantizar calidad, seguridad y reproducibilidad del producto. En este contexto, el presente trabajo aborda el escalado del proceso de purificación de la vacuna antirrábica humana, inicialmente desarrollado a escala de laboratorio con el sistema de cromatografía ÄKTA Pure y, luego, transferido al sistema ÄKTA Pilot. El objetivo del escalado es preservar los atributos críticos de calidad del antígeno, con énfasis en la reducción de ADN residual y la optimización del rendimiento del proceso productivo. Durante

el escalado del proceso de cromatografía líquida preparativa, se optimizaron parámetros clave como el factor de escala de la columna, la velocidad lineal del flujo, el tiempo de residencia, la carga de muestra y el volumen de elución. El esquema de purificación empleado consistió en dos etapas: intercambio iónico y exclusión por tamaño con columna desaladora. Este enfoque permitió reducir la concentración de ADN residual a valores inferiores a 0.1 ng/mL, cumplir con los estándares internacionales (<10 ng/dosis) y alcanzar una recuperación del virus superior al 58 %, lo que representa una mejora significativa en comparación con procesos anteriores (13 %). En aras de evaluar el método de purificación se emplearon técnicas analíticas como ELISA, para la cuantificación de la glucoproteína viral; qPCR, para la detección y cuantificación de ADN residual, y Western blot, para la verificación estructural del virus y su pureza. Los resultados preliminares demuestran la viabilidad técnica del proceso de escalado, aunque resaltan la necesidad de ajustes adicionales para optimizar la recuperación del virus sin comprometer los parámetros de calidad. Esta iniciativa representa un avance estratégico hacia la producción nacional de vacunas seguras y eficaces, alineada con los requisitos regulatorios internacionales y orientada a la autosuficiencia en producción de biológicos.

*Palabras clave:* producción de vacunas humanas, escalado de proceso de purificación, cromatografía líquida preparativa, vacuna antirrábica.

---

## Evaluación del desempeño de una columna de destilación reactiva empaquetada para purificar ácido láctico mediante hidrólisis de lactato de metilo

*Marisabel Fátima Ramírez Quintana, Midiam Hebelin Rubina Meza, Luis André Laguna Jiménez, Dharlen del Rocío Fernández Rivera, María Verónica Carranza Oropeza, Eliana Jara Morante*

Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
marisabel.ramirez@unmsm.edu.pe, midiam.rubina@unmsm.edu.pe,  
luis.laguna1@unmsm.edu.pe, dharlen.fernandez@unmsm.edu.pe,  
mcarranza@unmsm.edu.pe, ejaram@unmsm.edu.pe

### Resumen

La producción de ácido láctico de alta pureza representa un desafío técnico y económico importante para su aplicación industrial, alimentaria o farmacéutica. Los métodos convencionales de purificación, como precipitación, electrodiálisis y adsorción, implican múltiples etapas operativas, elevados costos y una eficiencia limitada en la obtención de un producto final altamente concentrado. Frente a esta problemática, la destilación reactiva se presenta como una alternativa eficiente, al integrar en un solo equipo la reacción química y la separación por destilación, porque simplifica el proceso y reduce los costos operativos asociados. En ese contexto, la presente investigación tuvo como objetivo diseñar una columna de destilación reactiva de operación continua para purificar ácido láctico mediante la hidrólisis de lactato de metilo. Se trabajó con una columna de vidrio de 1 m de altura y 3 cm de diámetro implementado con un empaque catalítico estructurado hecho de malla de alambre y catalizador Amberlyst®. La experimentación se realizó bajo dos configuraciones: una columna con dos zonas reactivas, y otra, con tres zonas, analizando diferentes diseños de empaques catalíticos y configuraciones de columna, que resaltan la importancia de la relación molar de la alimentación, la estructura del empaque y el tipo de catalizador sobre

la conversión y pureza del producto. Los resultados muestran que el empaque catalítico utilizado mantuvo una conversión eficiente bajo diferentes condiciones operativas. En ambas configuraciones se lograron concentraciones de ácido láctico superiores al 50 % p/p, alcanzando un máximo de 71 % en la configuración de tres zonas reactivas. Se determinó que el rango de temperatura óptimo en el rehervidor se encuentra entre 104 °C y 107 °C; mientras que temperaturas por debajo de 100 °C disminuyen significativamente la concentración. Se identificó que el tiempo óptimo de operación se encuentra entre 6 y 8 h. La columna con tres zonas reactivas mostró tiempos de calentamiento más cortos; sin embargo, tuvo problemas de operación en cada experimento. Finalmente, se concluye que la destilación reactiva con empaque catalítico estructurado es una técnica eficaz para la purificación de ácido láctico, siendo la configuración de dos zonas reactivas la más recomendable por su reproducibilidad y estabilidad. Este estudio representa un aporte significativo hacia la intensificación de procesos y la viabilidad técnica de implementar esta tecnología a mayor escala en la industria.

*Palabras clave:* destilación reactiva, hidrólisis, ácido láctico, lactato de metilo, purificación.

---

## Producción de azúcares fermentables, celulosa y lignina a partir del RAC de caña de azúcar mediante tratamiento subcrítico con agua/etanol

*Gabriel Morales Gutiérrez, Carol Julieth Olave, Lizeth Molina Acosta, Gustavo Bolaños, Víctor Fernando Marulanda*

Universidad del Valle  
gabriel.morales@correounivalle.edu.co,  
carol.olave@correounivalle.edu.co,  
lizeth.correa@correounivalle.edu.co,  
gustavo.bolanos@correounivalle.edu.co,  
victor.marulanda@correounivalle.edu.co

### Resumen

El residuo agrícola de cosecha de caña de azúcar (RAC) es un subproducto lignocelulósico abundante que representa una oportunidad para el desarrollo de procesos sostenibles de biorrefinería en el Valle del Cauca (Colombia). No obstante, su estructura recalcitrante necesita pretratamientos efectivos que permitan su fraccionamiento en componentes valorizables. En este estudio se evaluó un pretratamiento hidrotérmico en condiciones subcríticas empleando mezclas de agua y etanol (0 %-30 %), con un 5 % de sulfato de magnesio respecto al volumen de solvente como catalizador, aplicado al RAC con el fin de obtener fracciones diferenciadas ricas en azúcares, lignina y celulosa. Los experimentos se realizaron en un reactor Batch de acero inoxidable 305 con capacidad de 590 mL y calentamiento por resistencia eléctrica. En cada corrida se cargaron aproximadamente 58.8 g de biomasa seca. Se utilizó un diseño factorial  $2^2$  con 4 puntos centrales, considerando como factores la temperatura (165-185 °C) y el porcentaje de etanol. Se trabajó con una relación biomasa/solvente de 1:8.5 y un tiempo de residencia de 10 min a la temperatura deseada. El hidrolizado fue muestreado desde 120 °C, con incrementos de 10 °C, hasta alcanzar la temperatura objetivo. Las variables de respuesta incluyeron la cantidad de lignina recuperada

en el hidrolizado, la cantidad total de lignina extraída, la concentración de azúcares reductores (máxima y final) y los porcentajes de hemicelulosa y celulosa en el sólido remanente. Los resultados mostraron que el porcentaje de etanol fue el factor más influyente en la recuperación de lignina en el hidrolizado ( $p = 0.028$ ), alcanzando un máximo de 2.51 g a 185 °C y 30 % de etanol. Para la lignina total recuperada, tanto los factores como su interacción resultaron significativos ( $p \leq 0.038$ ), destacando también el porcentaje de etanol como el más determinante ( $p = 0.002$ ), con una recuperación máxima de 2.98 g. La concentración máxima de azúcares estuvo influenciada por la interacción etanol-temperatura ( $p = 0.037$ ), que evidenció una relación inversa en condiciones de bajo etanol y alta temperatura, y una sinergia positiva cuando ambos factores aumentan. La concentración máxima fue de 14.21 g/L a 165 °C y un 0 % de etanol. El contenido de hemicelulosa en el sólido fue afectado significativamente por ambos factores y su interacción, siendo la temperatura el más influyente ( $p = 0.00002501$ ), con una relación inversa. El menor valor obtenido fue de 10.47 % a 185 °C y 0 % de etanol. El contenido de celulosa fue influenciado por la temperatura ( $p = 0.035$ ) y la interacción ( $p = 0.049$ ), alcanzando un valor máximo de 41.51 % a 185 °C y 0 % de etanol. Estos resultados demuestran la viabilidad del uso de mezclas agua-etanol en condiciones subcríticas para el fraccionamiento selectivo del RAC, lo que permite orientar el proceso hacia la maximización de productos de valor agregado como azúcares fermentables, lignina y la celulosa.

*Palabras clave:* pretratamiento, lignocelulósico, celulosa, biomasa, lignina.

---

## Simulación de HPGR usando el método de los elementos discretos y el balance poblacional

*Víctor Alfonso Rodríguez*

Universidade de Rio de Janeiro  
victoralfonso@metalmat.ufrj.br

### Resumen

Los modelos matemáticos de rodillos de molienda de alta presión (HPGR) han atraído gran atención, por su papel en la optimización de las máquinas operativas, así como por el diseño y selección de nuevas. Si bien los modelos de balance de población (PBM) y el método de elementos discretos (DEM) se han utilizado en esta tarea, ambos sortean limitaciones importantes. Mientras que los desafíos del PBM se asocian a la predicción de la brecha operativa y a la validez de varias de sus suposiciones en diferentes formulaciones de la literatura; los desafíos del DEM aparecen cuando se alimentan con distribuciones que contienen grandes cantidades de finos. Este trabajo propone un enfoque híbrido, en el que se utiliza el acoplamiento del DEM a los modelos de remplazo de partículas y la dinámica multicuerpo para predecir la brecha operativa, el rendimiento y la potencia, así como para proporcionar información a lo largo de la longitud de los rodillos que se utiliza en el PBM para predecir la finura del producto. Luego se compara el enfoque híbrido con DEM y un PBM, que ha mostrado resultados similares a los últimos cuando se aplica para simular una máquina a escala piloto que opera en diferentes condiciones, pero con una predicción mejorada cuando se aplica en una ampliación a un HPGR a escala industrial.

*Palabras clave:* rodillos de molienda de alta presión, método de elementos discretos, método de balance de población, modelización, simulación.

---

## Industria 4.0-fábrica inteligente-*big data*-inteligencia artificial-CAD

La cuarta revolución industrial en las industrias de proceso no se limita a automatizar tareas: redefine de qué modo concebimos, diseñamos, operamos y mejoramos una planta. La fábrica inteligente integra el mundo físico y el digital mediante sensores y control avanzado en campo, historizadores y MES en la operación, y *data lakes*, CAD/CAE/PLM y gemelos digitales en ingeniería, cerrando el ciclo diseño-ejecución-aprendizaje. Sobre ese tejido de datos interoperables, *big data* e inteligencia artificial permiten pasar de la reacción a la predicción: equipos que se mantienen antes de fallar, lotes que alcanzan su *golden batch* por modelo, líneas que ajustan sus *setpoints* para ahorrar energía y agua sin sacrificar calidad, y recetas que se validan virtualmente antes del *commissioning*. La intensificación y la electrificación de procesos encuentran aquí su copiloto, al igual que la trazabilidad y la seguridad (ciberseguridad OT, gobernanza de datos) que sustentan el cumplimiento regulatorio. Este capítulo explora esa arquitectura de valor de los P&ID y el CAD al gemelo operativo y la inteligencia artificial en lazo cerrado y muestra de qué manera convertir datos en decisiones, decisiones en desempeño y desempeño en competitividad, sostenibilidad y resiliencia.

A continuación se presenta la compilación de trabajos que permite a la industria de procesos comprender el camino de la migración de la automatización aislada a operación orquestada por datos: sensores, Edge, *data lake*, gemelos digitales, decisiones en lazo cerrado (optimización y control).

## Herramienta soportada en inteligencia artificial para la formulación de materiales comestibles a base de hoja de coca

<sup>1</sup>Alejandra Hernández Córdoba, <sup>1</sup>Federico López Muñoz,  
<sup>2</sup>Lamia Zuniga Linan, <sup>1</sup>Jeffrey León-Pulido

<sup>1</sup>Universidad Ean, <sup>2</sup>Universidade Federal de Maranhão  
ahernan23212@universidadean.edu.co,  
flopezm76126@universidadean.edu.co,  
lamia.zuniga@ufma.br, jleomp@universidadean.edu.co

### Resumen

El presente proyecto plantea el desarrollo de una herramienta inteligente basada en inteligencia artificial (IA), orientada a la formulación de materiales comestibles derivados de la hoja de coca (*Erythroxylum coca*), con un enfoque integral de sostenibilidad, innovación tecnológica y bioeconomía circular. A través de la integración de modelos de aprendizaje automático, bioprospección digital y análisis fisicoquímico computacional, la herramienta identifica de manera eficiente combinaciones óptimas de ingredientes, parámetros de procesamiento y formulaciones funcionales que maximicen el valor nutricional, la biodisponibilidad de los nutrientes y la seguridad alimentaria de los productos obtenidos. El sistema propuesto emplea algoritmos de *machine learning* supervisados y no supervisados para procesar grandes volúmenes de datos sobre la composición química, propiedades sensoriales, comportamiento reológico y potencial bioactivo de la hoja de coca, integrando además criterios de estabilidad, sabor y aceptación del consumidor.

Este enfoque permite la creación de modelos predictivos que optimizan las formulaciones y procesos de transformación, minimizando el desperdicio de recursos y promoviendo prácticas de innovación verde. Desde una perspectiva de aprovechamiento responsable de recursos biológicos, el proyecto se alinea con los marcos regulatorios vigentes para el uso legal y sostenible de la hoja de coca, transformándola en una fuente de compuestos funcionales de alto valor agregado aplicables en sectores estratégicos como la nutrición deportiva, la alimentación saludable, la nutracéutica y la biotecnología alimentaria. Finalmente, la herramienta desarrollada busca democratizar la investigación y el desarrollo (I+D) en torno al potencial alimentario de la hoja de coca, facilitando la generación de nuevas aplicaciones tecnológicas y productos innovadores con impacto positivo en la salud humana, la economía local y la sostenibilidad ambiental.

*Palabras clave:* inteligencia artificial generativa, hoja de coca, herramienta, procesos, química verde.

---

## Desarrollo de desodorantes a partir de química verde e inteligencia artificial

*Mariana Pérez González, Valentina De la Rosa Murillo, Jeffrey León-Pulido*

Universidad Ean  
mperez89974@universidadean.edu.co,  
vdelaro48299@universidadean.edu.co,  
jleonp@universidadean.edu.co

### Resumen

El presente proyecto se fundamenta en los principios de aprovechamiento de residuos y química verde para el desarrollo de desodorantes sostenibles de nueva generación, integrando además tecnologías basadas en inteligencia artificial (IA) para

la optimización de formulaciones y procesos. La propuesta se centra en la valorización de residuos alimentarios como materia prima alternativa, con el fin de generar ingredientes activos y compuestos aromáticos de origen natural que sustituyan los agentes sintéticos convencionales utilizados en la industria cosmética. Mediante el enfoque de química verde, el proceso promueve la reducción de solventes tóxicos, el consumo energético eficiente y la disminución de subproductos contaminantes, garantizando un ciclo de vida del producto ambientalmente responsable. La inteligencia artificial se aplica para modelar y predecir la eficacia desodorante de distintas combinaciones de extractos naturales, permitiendo identificar mezclas con alta capacidad neutralizadora de olores y mínima huella ecológica. Los resultados obtenidos evidencian la viabilidad técnica de generar formulaciones sostenibles y biodegradables que conservan la eficacia funcional, mejoran la compatibilidad dérmica y contribuyen a la mitigación del impacto ambiental asociado a los desodorantes tradicionales. El estudio presenta, además, un conjunto de alternativas de mezclas verdes optimizadas que potencian el impacto positivo en la salud de las personas y en los ecosistemas, impulsando una transición hacia modelos de consumo más responsables y circulares.

*Palabras clave:* química verde, inteligencia artificial generativa, desodorante natural, procesos químicos, simulación.

---

## Desarrollo y validación de un gemelo digital para la simulación de un sistema de evaporadores

*<sup>1</sup>María Paula Cucaíta Fierro, <sup>1</sup>Juan Francisco Martínez Rojas,  
<sup>1</sup>Mario Andrés Noriega Valencia, <sup>1</sup>Juan David Hoyos Bohórquez,  
<sup>1</sup>Iván Darío Gil Chaves, <sup>2</sup>Julián Santiago Amézquita Angulo*

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, <sup>2</sup>West Engineering  
mcucaita@unal.edu.co, juamartinezro@unal.edu.co,  
manoriegava@unal.edu.co, jhoyosb@unal.edu.co,  
idgilc@unal.edu.co, jsamezquitaa@unal.edu.co

### Resumen

Los gemelos digitales son construidos a partir de modelos matemáticos complejos que representan la realidad de un sistema, y este, aplicado a sistemas de evaporadores, presenta complejidad, debido a los fenómenos asociados a dicha operación, como la transferencia de masa y energía. Este trabajo desarrolla un gemelo digital construido sobre el banco de evaporadores del Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia, con el propósito de replicar su comportamiento físico y compararlo con resultados experimentales. Esta herramienta interactiva permite la simulación precisa del proceso para diversas condiciones de operación. En entornos académicos faltan recursos digitales didácticos que se adapten a los equipos que se pueden encontrar en las industrias. El desarrollo del gemelo permite responder a una tendencia creciente en el mundo sobre la automatización y digitalización de procesos, pues son eficaces para la visualización y comprensión de sistemas complejos. Estas tecnologías comprenden mejor el comportamiento del proceso sin necesidad de experimentar con equipos físicos, lo cual reduce costos y riesgos operativos y, a su vez, permiten un mayor acceso a la información. En este trabajo se desarrolla el modelado en sistema estacionario y dinámico para analizar los procesos de evaporación en un entorno controlado y replicable. La

simulación implementa una aplicación en la nube haciendo uso de Streamlit, basada en ecuaciones fundamentales de balance de materia y energía. Se integran cálculos termodinámicos, incluyendo procesos de evaporación de agua y soluciones de agua y sal, considerando modelos para la elevación del punto de ebullición, la eficiencia térmica y pérdidas de calor en el proceso. Adicionalmente, se incluye una sección que permite identificar posibles condiciones de peligro, correspondientes a los parámetros de operación. Los resultados obtenidos mediante el uso del gemelo digital se compararon con datos experimentales como temperatura del efecto, masa de vapor vivo requerido para la operación y economía del evaporador. Al ajustar el modelo según las pérdidas de calor asociadas, se logran reducir errores respecto a los datos experimentales recolectados y alcanzar una correlación significativa con el comportamiento real del sistema. Estos resultados validan la precisión del gemelo digital como herramienta el análisis de procesos de evaporación.

*Palabras clave:* evaporadores, gemelo digital, balances, modelado, aplicación.

---

## Identificación de oxidorreductasas a partir de transcriptomas vegetales para la síntesis sostenible de fármacos mediante aprendizaje automático

*<sup>1</sup>Luis Fernando Salas Núñez, <sup>2</sup>Mateo Valderruten Cajiao, <sup>3</sup>Álvaro Barrera Ocampo, <sup>3</sup>Paola Andrea Caicedo Burbano, <sup>2</sup>María Francisca Villegas Torres, <sup>1</sup>Andrés Fernando González Barrios*

1Grupo de Diseño de Productos y Procesos (GDPP), Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Universidad de los Andes, 2Centro de Investigaciones Microbiológicas (CIMIC), Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de los Andes, 3Grupo Natura, Facultad de Ingeniería, Diseño y Ciencias Aplicadas, Departamento de Ciencias Farmacéuticas y Químicas, Universidad ICESI

lf.salas@uniandes.edu.co, m.valderruten@uniandes.edu.co, aabarrera@icesi.edu.co, pacaicedo@icesi.edu.co, m.f.villegastorres@uniandes.edu.co, andgonza@uniandes.edu.co

### Resumen

Las oxidorreductasas son un tipo de enzimas involucradas en procesos bioquímicos de oxidación-reducción y son de suma importancia en la biocatálisis. Además, pueden proporcionar rutas de síntesis más sostenibles, eficientes y rentables para producir medicamentos, lo que las convierte en invaluable en la industria. Las plantas de la familia Amaryllidaceae son poseedoras de compuestos de interés farmacéutico, lo que las convierte en un modelo ideal para el descubrimiento de enzimas oxidorreductasas de interés en compuestos bioactivos de alto valor terapéutico, como la galantamina, la licorina o la crinamina. Sin embargo, identificar y validar estas enzimas de manera rápida y precisa dentro del gran conjunto de transcritos vegetales sigue siendo todo un desafío, debido a la falta de herramientas eficientes. Por ello, para abordar este problema, empleamos un enfoque basado en descriptores moleculares, aprendizaje de máquina y herramientas bioinformáticas. Nuestro método toma un conjunto de secuencias de enzimas con actividad de oxidorreducción similar o equivalente a la

deseada, identificadas mediante aprendizaje no supervisado, y las caracteriza utilizando descriptores moleculares. Con estos rasgos, entrenamos un modelo de aprendizaje a fin de identificar, dentro de las proteínas predichas de los transcriptomas vegetales, aquellas con posible actividad catalítica similar. A continuación, realizamos análisis filogenéticos con el propósito de agrupar los candidatos y comprender sus relaciones evolutivas. Por último, seleccionamos los mejores candidatos y procedimos a las pruebas experimentales; de este modo se sintetizaron, clonaron y expresaron las secuencias para validar por medio de ensayo enzimático. Debido a la dificultad de sintetizar los sustratos específicos, usamos compuestos comerciales similares en la prueba. Gracias al aprendizaje automático, se identificaron candidatos con secuencia análoga, con propiedades funcionales y sitios catalíticos similares de forma rápida y así se superó el rendimiento de las herramientas tradicionales. En los últimos años, la aplicación de descriptores moleculares y aprendizaje de máquina para la identificación de enzimas con potencial catalítico ha sido ampliamente utilizado en la predicción de tioesterasas, tiolasas, nitrilasas, entre otras, obteniendo excelentes resultados; no obstante, la exploración de transcriptomas vegetales para descubrir nuevas oxidorreductasas con aplicaciones farmacéuticas sigue siendo limitada. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un modelo de aprendizaje de máquina que identifique oxidorreductasas clave en la síntesis de compuestos con potencial farmacéutico en plantas de la familia Amaryllidaceae y validar los resultados mediante ensayos bioquímicos. El modelo tuvo una exactitud del 86.3 % en los datos de test y predijo 27 secuencias con actividad potencial de alrededor de 400 000 transcritos de 5 especies de Amaryllidaceae. Este enfoque nos permitió confirmar la función específica de las enzimas en presencia de sustratos similares, validando así su actividad y su posible aplicación. En conclusión, nuestra investigación proporciona un enfoque innovador para la identificación de oxidorreductasas, porque fomenta la biocatálisis en la producción sostenible

de fármacos y contribuye al desarrollo de procesos sostenibles en la industria química.

*Palabras clave:* oxidorreductasas, inteligencia artificial, transcriptomas vegetales, biocatálisis, síntesis de fármacos.

## Aplicaciones de inteligencia artificial en cadenas de suministro sostenibles: un enfoque bibliométrico en la industria de procesos

*Valeria Valdes Riaño, Nicolás Felipe Becerra  
Jiménez, Jeffrey León-Pulido*

Universidad Ean  
vvaldes76971@universidadean.edu.co, nbecerr86396@universidadean.edu.co, jleomp@universidadean.edu.co

### Resumen

La creciente presión global por adoptar modelos de desarrollo sostenibles ha impulsado una transformación estructural en las cadenas de suministro tradicionales, orientándolas hacia esquemas verdes, resilientes e inteligentes, especialmente en sectores industriales intensivos en recursos y energía. En este contexto, la integración de tecnologías de inteligencia artificial (IA) se ha convertido en un factor clave para la optimización de la eficiencia operativa, la reducción de impactos ambientales y la toma de decisiones basada en datos. El presente estudio desarrolla un análisis bibliométrico y científico enfocado en la evolución, tendencias y perspectivas de la aplicación de la IA en la optimización de cadenas de suministro sostenibles, con énfasis en entornos industriales y de manufactura avanzada. A partir del procesamiento de datos obtenidos de las bases de información Scopus y Web of Science, complementado con una cuantificación financiera de proyectos y publicaciones, se identificaron patrones emergentes asociados con logística

verde, economía circular, reducción de huella de carbono, trazabilidad digital y sistemas inteligentes de gestión. Asimismo, se analizaron las metodologías predominantes en el campo, incluyendo modelos de aprendizaje automático, redes neuronales, algoritmos evolutivos y sistemas de soporte a la decisión multiobjetivo, aplicados a la planificación de la demanda, optimización de rutas, gestión de inventarios y evaluación de sostenibilidad. Los resultados evidencian un crecimiento exponencial en la investigación y adopción de soluciones basadas en IA, destacando una tendencia hacia la automatización de procesos sostenibles y la integración de análisis predictivo en las operaciones industriales. Finalmente, el estudio explora de manera prospectiva las oportunidades de innovación, negocio y mercado derivadas de la convergencia entre sostenibilidad, digitalización e inteligencia artificial, proponiendo un marco conceptual para orientar futuros desarrollos tecnológicos y estrategias de transición hacia cadenas de suministro más sostenibles, adaptativas y circulares.

*Palabras clave:* cadena de suministro verde, inteligencia artificial, análisis bibliométrico, tamaño de mercado.

---

## Diagnóstico de fallos del proceso Tennessee-Eastman por medio de redes bayesianas

*Paula Daniela Jerez Castillo, Christian Stewart  
Virviescas Sánchez, Giovanni Morales Medina*

Universidad Industrial de Santander  
paula2195595@correo.uis.edu.co, chrisvirsan@gmail.com,  
gmorales@uis.edu.co

### Resumen

Las fallas industriales pueden llevar a daños de activos fijos, pérdidas económicas debido a las paradas imprevistas en la planta y fatalidades. Ante estos riesgos, las redes neuronales artificiales (RNA) se han aplicado en diversas áreas industriales para identificar fallos de manera temprana, permitiendo la iniciación de protocolos de mantenimiento preventivos. Una de estas redes corresponde a la bayesiana, la cual infiere probabilidades de los posibles estados de las variables de respuesta con base en variables independientes. Durante el entrenamiento de estas redes, las conexiones se ajustan mediante un algoritmo que actualiza los pesos conforme al teorema de Bayes. Diversos artículos han documentado resultados satisfactorios en la aplicación de arquitecturas de redes bayesianas en la predicción y diagnóstico de fallos. Con el fin de corroborar la capacidad de identificación, se exponen los principales resultados de la aplicación de las RNA tipo bayesiana en la predicción de dos fallas críticas reportadas por la simulación del proceso Tennessee-Eastman (TEP). Los datos de la simulación TEP se descargaron del sitio web de la Universidad de Harvard e incluyeron tanto datos normales como datos con fallas. El conjunto de datos fue dividido aleatoriamente en subconjuntos de entrenamiento y prueba. Posteriormente, se analizó empleando bibliotecas como NumPy, Pyreadr, Seaborn, Pandas y Matplotlib Pyplot, que proporcionaron una variedad de gráficos que facilitaban la comprensión de la

información y su relación con los fenómenos fisicoquímicos del TEP. Luego, se entrenaron y validaron varios modelos de redes en el programa MATLAB rutinas del Statistics and Machine Learning Toolbox, a fin de evaluar los rendimientos en función del número de neuronas internas, número de capas internas, funciones de activación y otros parámetros de las redes. Finalmente, se identificó y probó la arquitectura con los mejores resultados en términos de eficiencia y MSE, con un conjunto adicional de datos, proporcionados por la misma simulación. Según los resultados, en términos generales, la red bayesiana predice la aparición de fallas críticas con una precisión superior al 90 %, lo cual concuerda con diversos trabajos de la literatura sobre el tema. Con lo anterior, las redes bayesianas se visualizan como una herramienta potencial en la detección y diagnóstico de fallos a nivel de procesos de la industria.

*Palabras clave:* MATLAB, procesos industriales, parada de planta, precisión, MSE.

---

## Educación en ingeniería química y ética

El presente capítulo relaciona los trabajos enmarcados en la ingeniería química y la ética. La formación en Ingeniería Química enfrenta el doble desafío de sostener la excelencia científica y responder, con criterio ético, a una industria en transición hacia la descarbonización, la circularidad y la digitalización. Este capítulo propone una mirada integral donde los fundamentos —balances, termodinámica, transporte, reacciones y diseño de procesos— se articulan con competencias transversales en seguridad de procesos, sostenibilidad (ACV, eco-diseño), datos e inteligencia artificial y gestión de la incertidumbre. La ética deja de ser un curso aislado para convertirse en un hilo conductor del currículo: integridad en el manejo y trazabilidad de datos; prevención de daños y cultura de reporte en seguridad; evaluación de impactos sociales y ambientales (justicia ambiental, licencias sociales); manejo de conflictos de interés; uso responsable de IA y propiedad intelectual; y consideraciones de doble uso en investigación y desarrollo. En lo pedagógico, se priorizan aprendizajes basados en problemas y proyectos vinculados a casos reales (HAZOP, LOPA, tecno-económico y ACV), laboratorios con criterios de seguridad inherente, simulación y gemelos digitales para decisión informada, y experiencias de aprendizaje-servicio que acerquen la ingeniería al territorio. Se proponen evaluaciones que midan tanto desempeño técnico

como razonamiento ético, con rúbricas explícitas y escenarios de decisión. Finalmente, se subraya la formación continua y la adhesión a códigos de conducta profesional, entendiendo que la reputación de la disciplina y el bienestar de las comunidades dependen de ingenieras e ingenieros capaces de unir rigor técnico con juicio ético en cada etapa del ciclo de vida de los procesos.

### **Enfoque interdisciplinario educación ambiental y gestión de residuos sólidos: análisis desde la ingeniería química, derecho ambiental y sistemas de información**

*<sup>1</sup>Sheila Sierralta Pinedo, <sup>2</sup>William Robert Gordillo Gonzales, <sup>3</sup>Christian David Corrales Otazu, <sup>4</sup>Sarita Jessica Apaza Miranda*

<sup>1</sup>Universidad tecnologica del peru,

<sup>2</sup>Universidad cesar vallejo,

<sup>3</sup>Universidad católica de santa maría, <sup>4</sup>universidad continental

c29216@utp.edu.pe, wrgordillogonzales@gmail.com,

ccorraleso@ucsm.edu.pe, sapaza@continental.edu.pe

La gestión efectiva de residuos sólidos y la educación ambiental requieren un enfoque interdisciplinario que integre perspectivas desde la ingeniería química, el derecho ambiental y los sistemas de información y comunicación. Esta investigación analiza la relación entre la educación ambiental y el manejo de residuos sólidos en una Institución Educativa de un puerto ubicado en el Norte del Perú, desde una perspectiva multidimensional. Desde la ingeniería química, se evalúan los procesos de segregación, reducción y reciclaje; desde el derecho ambiental, se examina el marco normativo y políticas ambientales; y desde la ingeniería de sistemas, se analiza la gestión de información y datos ambientales. La metodología empleó un diseño experimental descriptivo con una muestra

de 240 estudiantes de edades entre 15 y 18 años, incorporando métricas de proceso químico, cumplimiento normativo y gestión de datos. Los resultados indican una correlación significativa entre la educación ambiental y la gestión de residuos ( $p < 0.05$ ), con oportunidades de mejora en los procesos de segregación (34.9% inadecuado) y en la implementación de sistemas de información ambiental. Se propone un modelo integrado que combine principios de ingeniería de procesos, normativa ambiental y gestión digital de residuos para optimizar la educación y gestión ambiental en instituciones educativas peruanas.

*Palabras clave:* educación ambiental, gestión de residuos sólidos, ingeniería de procesos, derecho ambiental, sistemas de información ambiental.

---

## Observatorio de Diversidades en la Ingeniería Química Colombiana

*Grupo de Investigación y Fomento de la Ética y Responsabilidad Social en la Ingeniería.-ETIQ*

Consejo Profesional de Ingeniería Química CPIQ  
observatorioscpiq@cpiq.gov.co

### Resumen

La diversidad en la educación superior es clave para el crecimiento y fortalecimiento de todas las disciplinas, incluida la ingeniería química. En Colombia, la participación de diferentes grupos poblacionales, como mujeres, comunidades étnicas, personas con discapacidad, población LGBTIQ+, víctimas del conflicto armado y migrantes, ha ido en aumento, reflejando un entorno académico cada vez más plural e inclusivo. Sin embargo, es necesario seguir ampliando el conocimiento sobre las experiencias y necesidades de estos grupos, con el propósito de fortalecer estrategias que promuevan

una completa integración y desarrollo profesional. Con este objetivo, el Observatorio de Diversidades del Consejo Profesional de Ingeniería Química de Colombia (CPIQ) llevó a cabo un estudio para comprender mejor la diversidad en los programas de ingeniería química del país. La iniciativa busca aportar información estructurada que sirva como base para seguir fomentando espacios inclusivos y de equidad, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente en lo referente a educación de calidad, igualdad de género y reducción de desigualdades. A partir de una metodología de recopilación de información con estudiantes de diversas universidades, se identificaron tendencias en la participación de distintos grupos poblacionales, así como percepciones sobre inclusión y oportunidades dentro de la disciplina. El análisis de antecedentes a nivel nacional muestra que la ingeniería química, ha avanzado en la apertura de espacios para una mayor diversidad, aunque existen oportunidades para seguir enriqueciendo su alcance y representatividad. Los resultados reflejan una comunidad académica comprometida con el crecimiento profesional y con un interés en fortalecer la formación en diversidad e inclusión. Se observa una evolución positiva en la participación de diversos grupos poblacionales y una creciente conciencia sobre la importancia de entornos educativos y laborales accesibles para todos. En conclusión, este estudio contribuye a visibilizar las experiencias de los estudiantes de ingeniería química en Colombia y brinda herramientas para seguir consolidando espacios académicos cada vez más representativos e inclusivos. El compromiso con la diversidad y la equidad no solo enriquece la formación de los futuros ingenieros químicos, sino que también fortalece el impacto de la disciplina en la sociedad, permitiéndole responder de manera más integral a los desafíos actuales y futuros.

*Palabras clave:* Diversidad, Inclusión, Equidad, Ingeniería Química.

---

## Inteligencia Artificial Generativa (IAgen) y Realidad Aumentada (RA) para la enseñanza de Operaciones Unitarias en Ingeniería Química

*Ximena Verónica Jaramillo Fierro, Diana Guaya,*

*Eduardo Valarezo, Miguel Meneses*

Universidad Técnica Particular de Loja

xvjaramillo@utpl.edu.ec, deguaya@utpl.edu.ec, bevalarezo@utpl.edu.ec,

mameneses@utpl.edu.ec

### Resumen

El avance de las tecnologías emergentes ha generado un impacto significativo en la educación superior, particularmente en áreas técnicas como la Ingeniería Química. La enseñanza de Operaciones Unitarias, una de las áreas más desafiantes, enfrenta el reto de facilitar la comprensión de conceptos abstractos y complejos como el balance de materia y energía, la cinética de reacciones y el diseño de equipos de transferencia de masa y calor. Estos conceptos, fundamentales en la formación de ingenieros químicos, requieren métodos pedagógicos que trasciendan las prácticas tradicionales para captar el interés de los estudiantes y asegurar un aprendizaje profundo y significativo. En este contexto, la Inteligencia Artificial Generativa (IAgen) y la Realidad Aumentada (RA) se presentan como herramientas innovadoras que ofrecen nuevas oportunidades para transformar la enseñanza. La IAgen permite generar contenido personalizado adaptado a las necesidades específicas de los estudiantes, mientras que la RA facilita la visualización interactiva de procesos complejos, proporcionando una experiencia de aprendizaje inmersiva y enriquecida. Este estudio de caso, desarrollado en la Universidad Técnica Particular de Loja, tuvo como objetivo evaluar el impacto de la integración de IAgen y RA en la enseñanza de Operaciones Unitarias, mejorando el rendimiento académico y motivando a los estudiantes a involucrarse activamente en su proceso de

aprendizaje. El proyecto se diseñó para ser implementado durante dos ciclos académicos, con estudiantes de Ingeniería Química desde cuarto hasta séptimo semestre. La estrategia se estructuró bajo la matriz instruccional 4PADAFE, que combina Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) con herramientas de IAgen y plataformas de RA. Inicialmente, se capacitó a los estudiantes en la construcción de prompts y el uso de estas tecnologías. Posteriormente, los estudiantes trabajaron en proyectos relacionados con Operaciones Unitarias, utilizando IAgen y RA para generar y validar contenidos. Finalmente, se aplicaron instrumentos de evaluación para medir el rendimiento académico y la motivación de los estudiantes. El análisis incluyó encuestas iniciales sobre el conocimiento previo de IAgen y RA, un análisis comparativo de calificaciones antes y después de la intervención, y la aplicación del cuestionario IMMS de Keller para medir la motivación en términos de atención, relevancia, confianza y satisfacción. Los resultados mostraron un impacto positivo significativo en el rendimiento académico y la motivación de los estudiantes. Aquellos que utilizaron IAgen y RA mejoraron considerablemente sus calificaciones en comparación con ciclos anteriores. Además, se evidenció un aumento en la participación activa de los estudiantes y un mejor rendimiento académico general. La matriz 4PADAFE fue efectiva para estructurar el aprendizaje de manera práctica y aplicable. El análisis del cuestionario IMMS indicó que la mayoría de los estudiantes percibió un aumento en la motivación, especialmente en términos de atención y relevancia. No obstante, algunos estudiantes reportaron la necesidad de un mayor tiempo de adaptación al uso de IAgen, lo que sugiere que una capacitación inicial más exhaustiva podría haber mejorado aún más los resultados. En conclusión, este estudio demuestra que la integración de IAgen y RA, acompañada de un enfoque sistemático en la

capacitación y evaluación continua, tiene un gran potencial para transformar la educación técnica y científica.

*Palabras clave:* Inteligencia Artificial, Realidad Aumentada, Operaciones Unitarias, Innovación Educativa.

---

## Integración de un gemelo digital como herramienta pedagógica en las prácticas de los laboratorios de ingeniería química

*<sup>1</sup>Juan Francisco Martínez Rojas, <sup>1</sup>Maria Paula Cucaita Fierro, <sup>1</sup>Mario Andrés Noriega Valencia, <sup>1</sup>Juan David Hoyos Bohorquez, <sup>2</sup>Julian Amezcuita, <sup>1</sup>Ivan Dario Gil Chavez*

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia,

<sup>2</sup>West Engineering

juamartinezro@unal.edu.co, mcucaita@unal.edu.co,

manoriegava@unal.edu.co, jhoyosb@unal.edu.co,

julian.amezcuita@west.net.co, idgilc@unal.edu.co

### Resumen

En la formación profesional de un ingeniero químico, las prácticas de laboratorio se presentan como las oportunidades clave que permiten a los estudiantes aplicar los conceptos teóricos y desarrollar fortalezas profesionales. No obstante, estas prácticas presentan ciertas limitaciones que dificultan su aprovechamiento al máximo, entre ellas el tiempo disponible con el equipo, el acceso a la información del mismo y los riesgos de operación del mismo. Este trabajo evalúa el impacto de un gemelo digital, desarrollado a partir del banco de evaporadores del laboratorio de ingeniería química, como herramienta de aprendizaje en el desarrollo de las prácticas en los laboratorios de ingeniería química. Con los avances tecnológicos de la actualidad, los gemelos digitales se consolidan como un complemento a la educación tradicional, permitiendo la oportunidad de realizar comparaciones, análisis,

simulaciones y conclusiones más profundas al ser aplicados en prácticas de laboratorio. El gemelo digital evaluado consiste en un modelo desarrollado con el objetivo de brindar un entorno de simulación interactivo diseñado específicamente para el evaporador, cuyo objetivo es proveer a quien vaya a utilizar el equipo con las herramientas necesarias para preparar y ejecutar la práctica de manera más informada, detallada y segura. Entre sus funciones principales se encuentran la identificación de las partes del equipo, la definición de las condiciones operativas, a visualización de riesgos y situaciones que perjudiquen la seguridad en el laboratorio y simulación de los resultados esperados. Con el fin de evaluar la efectividad del modelo, se realizó un estudio comparativo entre dos grupos de estudiantes que realizaron la misma práctica: uno de estos grupos con acceso al gemelo digital y otro siguió el procedimiento usual, basado únicamente en la información que se encuentra del equipo actualmente, sin hacer uso de la mencionada anteriormente. Posteriormente, ambos grupos fueron sometidos a una encuesta estructurada para evaluar la percepción del usuario con el gemelo, la confianza en la operación del equipo y las oportunidades de mejora del mismo. Los resultados indican que el gemelo digital es una herramienta útil en el desarrollo previo, durante y después de las prácticas. Al encuestar a los estudiantes que tuvieron mayor contacto con el mismo se evidencia que estos tienen mejor conocimiento de la operación del equipo, mejor capacidad en la toma de decisiones de momentos críticos y una visión más compleja de las variables del proceso, incluso de aquellas que puedan ser un riesgo para la seguridad. Estos hallazgos sugieren que la implementación de gemelos digitales en entornos académicos facilita la experiencia hacia un aprendizaje más completo, efectivo y seguro.

*Palabras clave:* Gemelo Digital, Laboratorio, Seguridad, Educación.

---

## Rediseño del plan de estudios de la carrera de Ingeniería Química a partir del Análisis situacional de Honduras

*Clara Isabel Ortiz Valdez, Oscar Vladimir Ortiz Hernández,  
Miguel Ezequiel Padilla Tosta, Evelina Duneska Estrada López,  
Diana Gisela Velásquez Tinoco, Alex Francisco Perdomo Reyes*

Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH)  
clara.ortiz@unah.edu.hn, oscar.ortiz@unah.edu.hn,  
miguel.padilla@unah.edu.hn, evelina.estrada@unah.edu.hn,  
diana.velasquez@unah.edu.hn, alex.perdomo@unah.edu.hn

### Resumen

Determinar si el plan de estudio actual de la carrera de Ingeniería Química en Honduras está siendo eficiente y efectivo en cuanto a la formación de profesionales con las competencias que reclama el mercado nacional, el estado del arte y el avance tecnológico mundial; e investigar si existen las condiciones institucionales y las líneas de investigación y vinculación de la carrera enfocadas a contribuir a solventar las necesidades nacionales y regionales en el ámbito de la Ingeniería Química. Se desea conocer los avances del campo del conocimiento y la disciplina a nivel nacional, regional e internacional, los ejes curriculares y disciplinares, mercado educativo y mercado laboral. Conocer los problemas, necesidades y potencialidades para el desarrollo profesional del Ingeniero Químico, y que el currículo académico busca contribuir para su formación. Actualmente la carrera es impartida solamente en la principal universidad del país, la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) y únicamente en el Campus de Ciudad Universitaria, ubicado en la ciudad capital, Tegucigalpa, con un plan de estudios vigente desde 2008. Actualmente, La Ingeniería Química es una profesión que combina conocimientos de diferentes ciencias como ser la química, física, matemáticas y la biología, para integrarlos en el desarrollo de procesos de transformación de materia que sean sostenibles

y verdes, en el desarrollo de nanomateriales, así como en los bioprocesos. Además de utilizar herramientas computacionales para modelado de procesos y el uso de la inteligencia artificial. Su aporte en la economía circular es esencial, contribuyendo en la valorización de subproductos para reducir, reutilizar y reciclar residuos industriales. La investigación busca los siguientes objetivos: realizar un análisis situacional del contexto hondureño y de la carrera en estudio, para determinar cuál es el campo profesional con relación a las funciones ocupacionales del Ingeniero de Química Industrial, comparar las competencias profesionales actuales del Ingeniero Químico, versus las demandas del mercado laboral del país y de la región, establecer la pertinencia de la carrera conforme a las demandas del mercado, en contraste con el perfil académico profesional de la carrera y elaborar una propuesta de carrera con la base de los resultados obtenidos en la consulta con los actores de la carrera. El resultados del estudio realizado condujo a la elaboración de una nueva propuesta de plan de estudios de la carrera, con actualización de contenidos, incorporación de los temas de administración y ética, creación de las orientaciones de energía y medio ambiente, incluir el principio de internacionalización, armonizando criterios en cuanto a la duración del plan, la estructura de créditos, los objetivos de formación y la movilidad docente y estudiantil y la solicitud de equipos tecnológicos y recursos humanos, necesarios para la implantación del nuevo plan de estudios.

*Palabras clave:* “Ingeniería Química Honduras” “actualización curricular” “plan de estudios” “competencias profesionales” “innovación educativa”.

---

## Producción de bioenergía sostenible en Eco-comunidades urbanas: un enfoque participativo y formativo

<sup>1,2</sup>Zahira Gómez, <sup>1</sup>Eliana Quiroga, <sup>2</sup>Fabiana Franceschi García,  
<sup>1</sup>Iván Cabeza, <sup>2</sup>Bernay Cifuentes, <sup>3</sup>Ana Inés Vásquez Tellez

1Universidad de La Sabana, 2Universidad de La Salle, 3Asociación de Familias Hombres y Mujeres de Colombia (ASOFAHIMCO)  
zgomez16@unisalle.edu.co, elianaquco@unisabana.edu.co,  
ffranceschi@unisalle.edu.co, ivan.cabeza@unisabana.edu.co,  
bcifuentes@unisalle.edu.co, anita@hotmail.com

### Resumen

La Asociación de Familias, Hombres y Mujeres de Colombia (ASOFAHIMCO), una eco-comunidad urbana en Bogotá, es reconocida internacionalmente por su modelo de separación en fuente, reciclaje comunitario y agricultura sostenible. Sin embargo, el crecimiento urbano exige implementar modelos de gestión de residuos que generen energía. Este estudio, basado en la Investigación Acción Participativa (IAP), evaluó tecnologías sostenibles de valorización de residuos con énfasis en la participación comunitaria y la formación en ingeniería. Se diagnosticó la producción y composición de residuos locales, identificando los residuos de papa y plátano como los más representativos. Además, se analizaron diversas tecnologías según criterios técnicos, ambientales y sociales. Los resultados destacaron el potencial de la digestión anaerobia para cerrar el ciclo de residuos orgánicos y fortalecer la autosuficiencia energética de la comunidad. La IAP fue clave para la apropiación tecnológica, incrementando la adhesión a soluciones circulares mediante procesos educativos y facilitando la replicabilidad en otros entornos urbanos. El caso de ASOFAHIMCO demuestra cómo la apropiación social del conocimiento acelera transiciones socioecológicas,

integrando saberes locales e innovación técnica para lograr sostenibilidad urbana. Este proyecto es financiado por Min-ciencias (Contrato 441-2023).

*Palabras clave:* Bioenergía, Eco-comunidad, Digestión anaerobia, Ciencia abierta, Educación integral.

---

## Más allá de la optimización en intercambiadores de calor de carcasa y tubos

*Carlos Mauricio Mercado Pérez, Mario Andrés Noriega Valencia, Iván Darío Gil Chaves*

Universidad Nacional de Colombia  
cmercadop@unal.edu.co, manoriegava@unal.edu.co, idgilc@unal.edu.co

### Resumen

La optimización en el diseño de intercambiadores de calor se utiliza en la academia y la industria para mejorar la eficiencia térmica y reducir costos. Sin embargo, los diseños optimizados matemáticamente no siempre garantizan viabilidad mecánica, confiabilidad operativa ni cumplimiento de estándares industriales. Este estudio aborda la discrepancia entre los óptimos teóricos y las soluciones físicamente construibles en intercambiadores de calor de carcasa y tubos, destacando la necesidad de complementar la optimización con simulación. En el ámbito académico y de investigación, existe un enfoque predominante en la optimización matemática, en el que los diseños se centran únicamente en los aspectos térmicos y operativos, sin considerar simulaciones que validen estos resultados. Este enfoque puede generar una desconexión con la práctica real de ingeniería, donde la viabilidad mecánica, las restricciones normativas y los factores operativos son igualmente cruciales para garantizar el éxito de un diseño. Se

han propuesto técnicas como algoritmos genéticos y métodos deterministas para optimizar el diseño de intercambiadores de calor, pero muchas no consideran factores críticos como vibraciones, caída de presión y disponibilidad de componentes estándar. El objetivo de este trabajo es evaluar la eficacia de estos métodos de optimización, detallando las diferencias entre ellos, y presentar un enfoque pedagógico. Se abordan en detalle la definición del problema, las consideraciones clave, recomendaciones y un análisis exhaustivo de los resultados de cada método. Los resultados muestran que, aunque la optimización reduce el área de transferencia de calor y los costos operativos, algunos diseños presentan limitaciones, como número excesivo de tubos, diámetros no estándar e incumplimiento de normativas como ASME, ANSI y TEMA. La simulación permitió identificar estos problemas y evidenciar que integrarla en el diseño mejora la confiabilidad y reduce costos hasta en un 15 %. La optimización no es suficiente.

*Palabras clave:* Simulación, Transferencia de Calor, Diseño, Optimización.

## Impacto de los grupos estudiantiles en la formación integral de los ingenieros químicos

*Dana Yiset Piedrahita Sanes, Adriana Valentina Ocampo García, Manuela Marín Aristizábal, Sandy Carolina García Castro*

Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín  
dpiedrahitas@unal.edu.co, adocampo@unal.edu.co,  
mmarinar@unal.edu.co, sgarcias@unal.edu.co

La formación en ingeniería química demanda habilidades que trascienden el ámbito académico y convergen en la transversalidad humana. Sin embargo, la comunidad estudiantil se encuentra inmersa en un proceso formativo que históricamente ha dirigido su atención a la adquisición de conocimientos y

métodos específicos de su disciplina, lo que deriva en una preparación predominantemente teórica y académica, con poco enfoque en la formación de habilidades prácticas y blandas que el entorno laboral requiere. Si bien un programa educativo ofrece estrategias para el desarrollo integral, estas pueden resultar insuficientes o carentes de adaptabilidad, puesto que se tiende a considerar al estudiantado como un grupo homogéneo, omitiendo las diferencias existentes dentro de una comunidad tan diversa y los antecedentes que condicionan las competencias transversales con las que los estudiantes cuentan. De esta manera el papel que desempeñan los grupos estudiantiles adquiere una importancia vital en el desarrollo académico y profesional de los estudiantes de ingeniería química, pues proporciona un puente entre el conocimiento teórico y las aplicaciones prácticas. Esta presentación examina la influencia del Capítulo Estudiantil AIChE de la Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín en el crecimiento profesional de los estudiantes de ingeniería química. Este grupo estudiantil se creó en el año 2012 y cuenta en la actualidad con 65 miembros. Se estima que, desde su fundación, cerca de 1150 ingenieros químicos han hecho parte del Capítulo. Mediante cuestionarios enviados a egresados del programa de Ingeniería Química de la Facultad de Minas se encontró cómo las actividades del Capítulo Estudiantil AIChE-UN Medellín fomentan la sensación de pertenencia al programa y propician un proceso tanto individual como colectivo de adquisición y fortalecimiento de nuevas competencias. A través de visitas industriales, los estudiantes tienen la oportunidad de observar de primera mano la aplicación de los conceptos aprendidos en clase, facilitando su comprensión y reforzando su interés en la disciplina. Asimismo, la organización de competencias técnicas fomenta el trabajo en equipo, la resolución de problemas y la toma de decisiones en escenarios similares a los del entorno laboral. Además, la realización de talleres y actividades de esparcimiento permite a los estudiantes ampliar su visión y fortalecer su capacidad

de comunicación, adaptabilidad y pensamiento crítico. La interacción con compañeros, egresados y profesionales de la industria permite a los estudiantes establecer conexiones que pueden resultar valiosas en su desarrollo profesional. Estas experiencias no solo enriquecen su formación técnica, sino que también los preparan para entornos laborales dinámicos y multidisciplinarios. Además, la participación en puestos de liderazgo dentro de estos capítulos fomenta habilidades interpersonales como el trabajo en equipo, la comunicación y la gestión de proyectos, esenciales para el éxito profesional. En conclusión, la participación en un capítulo estudiantil potencia el desarrollo integral de los futuros ingenieros químicos, proporcionándoles herramientas esenciales para su éxito profesional. La combinación de experiencias prácticas, desarrollo de competencias transversales y oportunidades de liderazgo contribuye significativamente a su preparación para enfrentar los retos de la industria.

*Palabras clave:* Capítulo estudiantil, ingeniería química, desarrollo profesional, habilidades prácticas, competencias.

---

## Hidromiel de Montes de María: Aprendizaje y Proyección Social a través de la Estequiometría

*Luisa Fernanda Lara Martínez, Angie Paola Gómez Barrios,  
Luis Fernando Guerrero Hoyos, Moisés Elías Silgado Correa,  
Santiago Andrés Rodríguez Ariza, Edwin Fuentes Ordóñez,  
Claudia Hernández Londoño, Martha Cuenca Quicazán*

Universidad de Cartagena

llaram1@unicartagena.edu.co, agomez3@unicartagena.edu.co,  
lguerrero@unicartagena.edu.co, msilgado@unicartagena.edu.co,  
srodriguez@unicartagena.edu.co, efuentes@unicartagena.edu.co

La Universidad de Cartagena, fundada por el Libertador Simón Bolívar, fomenta la formación integral de sus estudiantes a través de innovadoras iniciativas académicas. El programa de Ingeniería Química, comprometido con el aprendizaje práctico y con sus acreditaciones de alta calidad nacional e internacional, desarrolla la actividad “Estequioshop” en el curso de estequiometría, para evaluar el Resultado de Aprendizaje 3 (RA3) y el Student Outcome 3 (SO3), relacionados con la capacidad de comunicarse de manera efectiva ante una variedad de audiencias. Esta experiencia, que simula un proceso productivo real, desafía a los estudiantes a sintetizar el proceso y ejecutar la obtención de un producto, considerando múltiples dimensiones tales como aspectos técnicos, de innovación, económicos, medioambientales y sociales. En esta ocasión, los estudiantes se enfocaron en la producción de hidromiel, una bebida alcohólica fermentada que valoriza los recursos apícolas de los Montes de María. Esta subregión colombiana, ubicada entre Bolívar y Sucre, destaca por su abundante producción de miel de abejas, cuya comercialización se ve limitada por bajos precios. Además, el polen apícola, un valioso subproducto, permanece sin explotar. La

producción de hidromiel emerge como una alternativa para agregar valor a estos recursos, brindando a los apicultores una nueva fuente de ingresos. Los estudiantes experimentaron con la obtención de dos variedades de hidromiel, utilizando miel y polen de los Montes de María, levadura comercial, agua potable de Cartagena y frutas locales: piña (*Ananas comosus* L.) y corozo (*Bactris guineensis*). Las fermentaciones se llevaron a cabo en reactores discontinuos, con 2000 g de mosto, durante 21 días a temperatura ambiente (30 °C). Los estudiantes demostraron su capacidad para ejecutar el proceso productivo, manteniendo las condiciones de higiene necesarias para obtener un hidromiel que cumpliera con la normativa colombiana para vinos. Los resultados y el producto final fueron presentados en la actividad presencial “Estequioshop”, donde los estudiantes expusieron sus hallazgos y defendieron su propuesta ante compañeros y evaluadores. Esta experiencia fortaleció sus habilidades comunicativas y argumentativas, y evidenció el potencial del hidromiel como producto de consumo. La favorable acogida del hidromiel por parte de los potenciales consumidores motivó a los estudiantes a continuar desarrollando su proyecto. Además, elaboraron un video explicativo dirigido a los apicultores de los Montes de María, con el objetivo de compartir el proceso de producción y promover la diversificación de sus productos. Esta iniciativa estudiantil se enmarcó en el Proyecto “Concurso Identificación de Mieles Especiales de los Montes de María con Características Asociadas a su Origen”, financiado por la Vicerrectoría de Extensión y Proyección Social de la Universidad de Cartagena, demostrando el compromiso social del Programa de Ingeniería Química con el desarrollo económico de la región. La producción de hidromiel, a partir de recursos locales como la miel, el polen y las frutas tropicales, representa una oportunidad para generar valor agregado, mejorar los

ingresos de los apicultores y fomentar el impacto real de los cursos en la comunidad de Bolívar.

*Palabras clave:* hidromiel, miel, polen, Montes de María, proyección social, balances de masa.

## Diseño de una experiencia de aprendizaje teórico-práctica de energía fotovoltaica

<sup>1</sup>*Cristian David Pérez Torres*, <sup>2</sup>*Jose Luis Vega Ayala*, <sup>3</sup>*Carminé Fusaro*, <sup>3</sup>*Juliana Puello Méndez*,  
<sup>3</sup>*Shanely Janith De Ávila Mosquera*

<sup>1</sup>Politécnico Grancolombiano, <sup>2</sup>Propal, <sup>3</sup>Universidad de San Buenaventura Cartagena  
cdavperez@poligran.edu.co, jolveg18@gmail.com,  
carminé.fusaro@usbctg.edu.co, jpuello@usbctg.edu.co,  
sjdeavilam@miusbctg.edu.co

La energía solar es una fuente renovable y limpia, que no produce emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global. Al enseñar a los estudiantes sobre el funcionamiento de una planta fotovoltaica, se les brinda la oportunidad de comprender la importancia de las energías renovables y su papel en la transición hacia un futuro más sostenible. Con el objetivo de fomentar un aprendizaje práctico, se diseñó una planta piloto con unas dimensiones adecuadas (1861mm de alto, 1627mm de largo y 700mm de ancho) para su fácil, traslado y manipulación, asimismo, proporcionar a los estudiantes una oportunidad para explorar de manera activa y experimental el funcionamiento y la integración de sistemas fotovoltaicos. El diseño de la planta piloto, realizado por medio del software comercial SolidWorks, contempla diversos elementos eléctricos como: paneles solares de 50 y 100 vatios, inversores, controladores de carga tipo PWM y MPPT y baterías de 12 voltios. Los manuales de funcionamiento de

la planta piloto están redactados en el formato institucional de la Universidad San Buenaventura Cartagena. Estos contemplan la conexión básica de un sistema fotovoltaico off-grid y el análisis funcional de cada elemento. También contempla las diferentes conexiones (serie y paralelo) en sistemas con paneles solares. Igualmente, con la elaboración del módulo “Sistemas de energía fotovoltaica y solar térmica” se quiere tener un curso teórico-práctico que enseñe a los estudiantes a diseñar sistemas fotovoltaicos teniendo en cuenta los principios básicos de la energía solar.

*Palabras clave:* Energía fotovoltaica, Experiencia de aprendizaje, Sistema fotovoltaico, Solidworks.

---

## Innovación en biomateriales sustentables para un mundo mejor: un enfoque multidisciplinario

*<sup>1</sup>María Guadalupe Lomelí Ramírez, <sup>2</sup>Alexandra Miguel Guevara Castillo, <sup>2</sup>María Magdalena González Pérez*

<sup>1</sup>Universidad de Guadalajara-Departamento de Madera. Celulosa y Papel,

<sup>2</sup>Universidad de Guadalajara

maria.lramirez@academicos.udg.mx, alexandra.guevara@alumnos.udg.mx,

maria.gonzalez3738@alumnos.udg.mx

El libro *Innovación en biomateriales sustentables para un mundo mejor: un enfoque multidisciplinario* constituye un aporte relevante en el contexto de los desafíos actuales en sostenibilidad, al brindar un análisis profundo y multidimensional sobre el papel de los biomateriales en la transformación de diferentes sectores productivos y en la mejora de nuestra interacción con el medio ambiente. El trabajo tiene como objetivo presentar esta publicación que compila investigaciones recientes y desarrollos tecnológicos innovadores relacionados con el aprovechamiento de recursos renovables y subproductos

agroindustriales, y otros residuos orgánicos, para la creación de soluciones sostenibles, como empaques biodegradables y biopolímeros aplicables en modelos de sostenibilidad y economía circular. El libro mira hacia el futuro ya que se presentan temas innovadores, tales como: bioempaques, micelio, fibras vegetales, biorrefinería, biomateriales, quitina, celulosa, nanocelulosa, envases biodegradables, madera, celulosa microfibrilada, polisacáridos, fármacos, residuos agroindustriales, biopoliésteres, bioplásticos, reciclaje, biodegradación, innovación, economía circular, aprovechamiento sustentable, entre otros. A lo largo de sus capítulos, se presentan metodologías, casos de estudio y aplicaciones que evidencian el potencial de estos materiales para impactar positivamente industrias clave como la alimentaria, la de construcción, la tecnológica y la de embalaje. Más allá de su valor como obra de consulta científica, este libro está concebido como una plataforma de inspiración y reflexión para investigadores, profesionales, emprendedores, tomadores de decisiones y jóvenes en formación. Su propósito es fomentar la adopción de tecnologías limpias y soluciones basadas en biomateriales, con el objetivo de contribuir a la construcción de un futuro más sostenible, inclusivo y eficiente. Esta obra consta de 15 capítulos, elaborados por autores con experiencia en el área de los biomateriales sustentables, pertenecientes a las siguientes instituciones nacionales: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Universidad de la Sierra Juárez, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Universidad Tecnológica de Jalisco, Instituto Tecnológico de Monterrey, Bionanomat SAPI de C.V. Por la Universidad de Guadalajara, los Centros Universitarios: Cucei, Cucba, CuTonalá y Cucea. Las instituciones internacionales participantes fueron: Universidad Nacional de Colombia, Universidad de la República, Universidad Nacional de Asunción, Universidad Federal de Santa Catarina, Universidade Federal do Paraná, Polytechnic Institute of Bragança, Université de Rennes, i-nano Limited y Universiti Sains Malaysia. Los países participantes

son: Brasil, Colombia, Costa Rica, Francia, Malasia, México, Nueva Zelanda, Paraguay, Portugal y Uruguay.

*Palabras clave:* Libro, biomateriales, sustentables, innovación.

## Espacios de Aceleramiento para Reducir la Brecha de Género en la Rama Científica de Costa Rica: Caso “Global Women’s Breakfast”

*Sabirah Lianeth Galeano Ilama, Henry Johao*

*Mora Ureña, José Ángel Rodríguez Corrales*

Universidad Nacional de Costa Rica

sabirah.galeano.ilama@est.una.ac.cr, henry.mora.urena@est.una.ac.cr

En el ámbito científico, se ha observado una diferencia en la participación entre hombres y mujeres, tanto en el acceso a carreras científicas como en el egreso de estas. Esta diferencia se manifiesta desde ocupaciones en cargos de liderazgo académicos y visibilidad en el área científica. Considerando este panorama, es importante construir espacios seguros, con un entorno científico inclusivo y accesible. Encuentros como el Global Women’s Breakfast 2025 permiten desarrollar redes de apoyo y colaboración entre organizaciones para superar las barreras de equidad de género en la ciencia. Algunas investigaciones consideran que se deben realizar actividades con un enfoque de género sustancial, para influenciar la elección y permanencia de las mujeres en carreras del área científica. Uno de los principales logros del Global Women’s Breakfast 2025 fue la creación de una red de apoyo sólida entre los tres capítulos estudiantiles de la American Chemical Society (ACS) en Costa Rica. Este esfuerzo conjunto fortaleció el compromiso de las y los participantes con la promoción de vocaciones científicas en nuevas generaciones, contribuyendo

a la apertura de espacios en el ámbito STEM de manera más inclusiva y equitativa. Además, permitió que organizaciones como SWISE Costa Rica y la delegación de Costa Rica de la Asociación Latinoamericana de Estudiantes de Ingeniería Química aportaran herramientas para formar parte de organizaciones que se enfocan en el avance de la ciencia equitativa. En términos generales, este evento permitió el fortalecimiento de redes de apoyo y un impacto colectivo hacia la problemática de la brecha de género en la química y la ciencia.

*Palabras clave:* Palabras clave: ética, fortalecimiento, equidad, inclusividad.

## Sinergia entre Semilleros de Investigación y los Ejes Misionales de Extensión y Docencia de la Universidad: Caso de Estudio

<sup>1</sup>Carlos J. Muñdi-Nova, <sup>2</sup>Edna M. Gamboa-Delgado.

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Química. <sup>2</sup>Escuela de Nutrición y Dietética. <sup>1,2</sup>Grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICTA), Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. [emgamboa@uis.edu.co](mailto:emgamboa@uis.edu.co)

### Introducción

El semillero Agro Industria Ciencia y Tecnología AICT- del grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos, CICTA de la Universidad Industrial de Santander realiza actividades de formación, investigación y extensión en el campo de la Ciencia, Tecnología y Procesos de la industria de alimentos y áreas afines a este. Está integrado por estudiantes de Ingeniería Química principalmente, aunque que también algunos son de Nutrición y Dietética, Química, Biología y Tecnología Agro Industrial. Uno de los casos de éxito a resaltar consistió en la participación de estudiantes del Semillero AICT en un proyecto de extensión sobre la formación de un

panel semi entrenado y pruebas de evaluación sensorial de muestras de aguardiente con panelistas y con consumidores. Participaciones como esta crean sinergias de doble vía, entre los tres ejes misionales de la Universidad, favorecen la motivación y permiten la creación de competencias específicas y profesionales para la vida en los estudiantes. Objetivos: 1. Formar un panel semi entrenado de jueces sensoriales con la capacidad de evaluar muestras de aguardiente, siguiendo metodologías estandarizadas y utilizando terminología específica del producto. 2. Capacitar y entrenar a un grupo de estudiantes del semillero para la conformación del equipo de apoyo logístico a pruebas de evaluación sensorial con consumidores de aguardiente. Metodología: Se elaboró y registró un Proyecto de Extensión que se llevó a cabo en las fases de: 1. Convocatoria, 2. Pruebas de preselección y selección, 3. Formación/capacitación entrenamiento. Las sesiones de entrenamiento se enfocaron en: entrenamiento básico de evaluación sensorial, entrenamiento sobre fase visual y olfativa (apariencia y olor), fase gustativa: evaluación sensorial de sabores básicos, fase táctil, auditiva, visual y gustativa, entrenamiento específico en evaluación sensorial de aguardiente (evaluación sensorial visual y olfativa de aguardiente, entrenamiento en diferentes grados de alcohol, evaluación de pruebas discriminativas, edulcorantes, evaluación sensorial regusto/post regusto en aguardiente). Resultados and Discusión: Para el caso de la conformación de panelistas, 121 estudiantes manifestaron interés por hacer parte del panel, de los cuales 25 fueron elegidos después de presentar todas las pruebas de preselección y selección. El panel finalizó con 18 estudiantes que completaron la formación de 40 horas. Para el caso del equipo de apoyo logístico a pruebas con consumidores, 38 estudiantes del semillero recibieron capacitaciones y entrenamiento en cuanto a la logística y procedimientos para la realización de las pruebas de análisis sensorial con consumidores de muestras de aguardiente. Conclusiones: Las actividades integradoras, como las realizadas por el Semillero Agro Industria Ciencia

y Tecnología-AICT-, son fundamentales para fortalecer la relación entre los ejes misionales de Extensión y Docencia. Este tipo de proyectos incrementa la motivación estudiantil, promoviendo una formación más práctica y cercana a los retos del mundo real. Además, permite a la Universidad desarrollar competencias técnicas y axiológicas en los estudiantes, preparando a futuros profesionales con una visión ética y comprometida con la sociedad, mientras fortalecen sus habilidades en áreas clave de la industria alimentaria.

*Palabras clave:* Semillero, investigación, extensión, proyección social, docencia.

---

## Control y seguridad de procesos

En Colombia y Latinoamérica, controlar bien los procesos y operar con seguridad es condición de competitividad y de licencia social para operar. La agenda regional converge en cinco frentes prácticos: (1) prevención desde el diseño y la operación diaria (equipos en buen estado, parámetros estables, alarmas útiles, personal entrenado); (2) gestión responsable de sustancias químicas (inventarios al día, bodegas segregadas y señalizadas, hojas de seguridad claras, transporte seguro con trazabilidad); (3) preparación para emergencias conectada con bomberos, hospitales y autoridades ambientales (planes simples, simulacros periódicos y rutas de notificación definidas); (4) integridad y mantenimiento de equipos críticos (recipientes a presión, vapor, gas, electricidad e instrumentación) con inspecciones programadas y repuestos disponibles; y (5) relación con el entorno y el clima: comunicación con comunidades vecinas y planes para eventos como El Niño o lluvias extremas que afectan enfriamiento, energía y drenajes. Este capítulo baja estos puntos con proyectos en el contexto de la industria de procesos, para convertir la seguridad en un resultado medible: cero daños, menor variabilidad y continuidad operativa.

## Estudio de seguridad inherente en un proceso integrado energética y másicamente de producción de PVC con reciclaje directo

*Linda Mychell Puello Castellón, Rolando Manuel*

*Guardo Ruiz, Ángel Darío González Delgado*

Universidad de Cartagena

lpuelloc2@unicartagena.edu.co, rguardor@unicartagena.edu.co,

agonzalezd1@unicartagena.edu.co

### Resumen

La polimerización del PVC consiste en la obtención de polícloruro de vinilo a partir de la transformación del monoclóruo de vinilo, conocido como MVC. El PVC tiene una alta demanda en la sociedad actualmente y en la industria, a raíz de las propiedades físicas que presenta, como son la flexibilidad, ligereza, impermeabilidad y durabilidad. La polimerización se lleva a cabo en un medio acuoso, el cual permite la transformación de MVC a PVC, en conjunto con un iniciador. El MVC es cancerígeno, tóxico y explosivo, por lo que resulta imperativo tener control acerca de la manipulación, uso y generación de residuos del mismo. Otro factor importante en el proceso, es el alto consumo de agua para llevar a cabo la polimerización del PVC de manera continua en el sistema, debido a que se requiere el consumo de grandes volúmenes de este fluido. Por lo que resulta indispensable aprovechar de manera óptima el agua para no tener un impacto negativo en los costos generales del proceso. Se implementó en el sistema una recirculación directa de aguas residuales generadas en el proceso, disminuyendo significativamente el volumen requerido de agua para el correcto funcionamiento del proceso industrial. Para todo proceso industrial es fundamental conocer desde un punto de vista cuantitativo el efecto de estas adaptaciones en la seguridad del proceso. El objetivo de este trabajo es evaluar la seguridad del proceso de

polimerización del PVC implementando recirculación directa del agua. Esta evaluación se realiza mediante el Análisis de Seguridad Inherente de Procesos Químicos (ISI), tomando como referencia en la literatura, información concerniente a los compuestos presentes en el proceso. El método ISI se basa en calcular diferentes indicadores para el proceso, en base a los compuestos utilizados, las reacciones que se llevan a cabo; las temperaturas y presiones a la que trabajan los equipos, entre otros aspectos que engloban el análisis de seguridad para determinar si un proceso es seguro o no. Se realizó el análisis de seguridad de polimerización del PVC con recirculación directa de agua, demostrando como resultado que el proceso no es seguro, debido a que excede el valor máximo para considerarse seguro, el cual es 24. El MVC presenta los mayores índices de peligrosidad, alcanzando un valor de 22 en el apartado de los compuestos químicos. Analizando los equipos y operación del proceso, se presentaron resultados como una temperatura máxima de 250 °C, presión de 14 bar, y capacidad de 46459.2 t/día, como principales índices del análisis. Sumando los resultados de los dos grupos de este método, el proceso presenta un valor de 34 en el análisis de seguridad inherente, sobrepasando el límite permitido. Con estos resultados, se concluye que el proceso de producción de PVC con recirculación directa del agua resulta ser un proceso inherentemente inseguro, por lo que es necesario establecer protocolos de seguridad altamente organizados e implementar medidas adicionales para mitigar la inseguridad inherente del proceso.

*Palabras clave:* Recirculación directa, integración másica, PVC, análisis de seguridad inherente.

---

## Análisis de seguridad inherente del proceso de producción de PVC integrado energética y másicamente con regeneración

*Arelmys Johana Bustamante Miranda, Eduardo Aguilar Vásquez, Ángel Darío González Delgado*

Universidad de Cartagena  
abustamantem@unicartagena.edu.co, eaguilarv@unicartagena.edu.co,  
agonzalezdl@unicartagena.edu.co

### Resumen

El policloruro de vinilo (PVC), es un polímero que ha revolucionado múltiples industrias desde su descubrimiento en el siglo XIX y que es ampliamente utilizado por su versatilidad, ya que puede ser rígido o flexible, además de ser ligero, resistente, inerte, autoextinguible y económico. Este material, derivado del monómero de cloruro de vinilo (VCM), para el cual la polimerización puede darse por muchos métodos, siendo la polimerización por suspensión la más utilizada a nivel industrial ya que permite la fabricación de PVC con propiedades ajustables, como tamaño de partícula y viscosidad, necesarias para satisfacer requisitos de diversas aplicaciones. Además, porque este permite controlar emisiones de VCM mediante sistemas cerrados, tecnologías de desgasificación y recuperación, algo esencial, ya que el VCM es un compuesto carcinógeno que puede dañar la salud y el medio ambiente al generar contaminación atmosférica y ozono troposférico. Aunque es eficiente, este proceso consume grandes cantidades de agua, utilizada como medio de reacción para dispersar el MVC y de enfriamiento para los reactores, pues la reacción es bastante exotérmica. Con el fin de mejorar el proceso en cuanto a consumo de agua potable y MVC, se implementó un sistema integrado con recirculación y tratamiento del agua residual mediante reactores anaeróbicos y aeróbicos. Este sistema permite regenerar agua con menores niveles de contaminantes, como el PVA. No obstante, estas modificaciones

no solo afectan la eficiencia y sostenibilidad del proceso, si no también los riesgos asociados, lo que requiere de un análisis de seguridad inherente mediante el Inherent Safety Index (ISI), que considera parámetros químicos y del proceso para determinar niveles de riesgo, dentro de los parámetros químicos (Ich) tenemos, los riesgos asociados a reacciones químicas, inflamabilidad, toxicidad, explosividad y corrosividad y para el índice relacionado con el proceso (Ips), inventario de materiales, temperatura, presión, estructura de proceso y seguridad de equipos. Esta evaluación toma puntuaciones previamente establecidas y utiliza un enfoque basado en “el peor caso” para determinar el valor más crítico de cada subíndice. Basados en este procedimiento se realizó este análisis para un proceso de producción de PVC integrado energética y másicamente con regeneración de agua residual, dando como resultado un índice de seguridad inherente de 32 que sobrepasa el límite permitido e indica que el proceso no es seguro. En el índice químico (Ich=19) el mayor riesgo proviene de la inflamabilidad, toxicidad e interacciones químicas del VCM. En cuanto al índice de proceso (Ips=16) localiza riesgos altos en inventarios de sustancias peligrosas (371.14 tone/h), temperaturas críticas de 250 °C, presiones de 10 Bar y en la seguridad de la estructura, que aunque el número de accidentes no es constante, siempre existe un riesgo inherente en la operación de plantas químicas. A pesar de las mejoras en sostenibilidad, como la reducción en el consumo de agua potable, el proceso aún presenta riesgos significativos a nivel químico y operativo. Sin embargo, la implementación de estrategias de control y medidas de seguridad podría optimizar el proceso, equilibrando sostenibilidad y seguridad sin comprometer la viabilidad del sistema.

*Palabras clave:* Polimerización por suspensión, cloruro de vinilo (VCM), Inherent Safety Index (ISI), regeneración de agua residual, riesgos químicos y operativos.

---

## Historical Analysis of Accidents in the American Industry

*Adriana Palacios Rosas, Erika Palacios Rosas*

FUNDACION UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS PUEBLA  
adriana.palacios@udlap.mx, erika.palacios@udlap.mx

In the chemical and petrochemical industries accidents can occur for several reasons, whether when transporting hazardous materials or at industrial facilities. Frequently, the reasons for these accidents are physical effects that can damage the equipment. Suppose equipment is damaged and a fire occurs. In that case, it can provoke a domino effect, increasing the severity of the primary event, as mentioned by Mercedes and colleagues (Gómez-Mares et al., 2008), where databases focused on European countries, such as the Major Hazard Incident Data Service (MHIDAS), are used to analyse the types of accidents that occurred due not only to fires, explosions, and gas emissions, but also different equipment malfunctions or the transportation of hazardous materials, with the total number of accidents being recorded. In the present research work, an in-depth analysis of the different types of accidents that occurred in the chemical and petrochemical industries between 1900 and recent years in the American Continent has been carried out. The main purpose of this research work was to create a database that contained information related to the accidents that occurred in the American Continent chemical industry. For this extensive investigation, it was necessary to obtain information from news, reports and articles related to this topic. In the present research article, a total of 1360 accidents that occurred since 1900 in the whole American Continent have been analysed. The total number of accidents per decade was collected and their types, causes, consequences, and number of deaths were analysed. Finally, safety measures have also been suggested through the comparisons obtained for the whole continent. References Gómez-Mares M., Zárate L.,

Casal, J., 2008. Jet Fires and the Domino Effect. *Fire Safety Journal*, 43, 583-588.

*Palabras clave:* accidents, chemical industry, America, fire, explosion.

## **Análisis de una estrategia de control feedback para un reactor de metanación mediante simulación con Aspen HYSYS**

*Giovanni Morales Medina, Eliana Paola Jiménez Aguirre*

Universidad Industrial de Santander  
gmorales@uis.edu.co, elianapaola79@gmail.com

El cambio climático derivado de las emisiones de  $\text{CO}_2$  exige soluciones tecnológicas que permitan la transición hacia energías renovables. En este contexto, la metanación, que convierte  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2$  en  $\text{CH}_4$ , se posiciona como una opción viable al facilitar el almacenamiento de energía renovable y reducir gases de efecto invernadero. Sin embargo, la exotermicidad de la reacción plantea desafíos operativos, como inestabilidad e inercia térmica, lo que requiere un adecuado análisis en cada situación de control. Este trabajo analiza el desempeño de una estrategia de control feedback en reactores de metanación mediante simulaciones en Aspen HYSYS, definiendo los principales aspectos para una adecuada sintonización de los lazos de control. El estado del arte destaca investigaciones sobre configuraciones adiabáticas y refrigeradas, así como estrategias de control orientadas a estabilizar sistemas de metanación bajo diversas condiciones. A partir de estos estudios, se estableció un modelo base con cuatro reactores adiabáticos y separadores de agua para validar la simulación dinámica. Las actividades incluyeron la validación de las simulaciones en estado estacionario de las configuraciones seleccionadas, la evaluación de la estabilidad y los tiempos de respuesta del

sistema ante perturbaciones en estado dinámico y el análisis de las respuestas del control feedback. Los resultados en estado estacionario validaron las simulaciones desarrolladas en Aspen HYSYS, con un límite de conversión cercano al 96 %. En lazo abierto, el sistema mostró fluctuaciones significativas en temperaturas y conversiones, con tiempos de estabilización extensos. La respuesta de la conversión ante perturbaciones en los flujos de alimentación fue de tipo inversa. Por su parte, el desempeño del control feedback en el sistema de enfriamiento intermedio con reactores adiabáticos no alcanzó setpoints menores de 700 °C. Al adoptar un sistema de dos reactores con enfriamiento, la conversión global alcanzó el 96 % con setpoints inferiores a 700 °C, evitando el fenómeno de coquizado.

*Palabras clave:* Perturbación, lazo abierto, lazo cerrado, sintonización.

## **Inherent safety analysis of a cascade biorefinery for the utilization of avocado hard waste from the south colombian region**

*Eduardo Aguilar-Vásquez, Candelaria Tejada-Tovar, Ángel Darío González-Delgado*

Universidad de Cartagena  
eaguilarv@unicartagena.edu.co, ctejadat@unicartagena.edu.co,  
agonzalezdl@unicartagena.edu.co

Cascade biorefineries have shown great potential by effectively valorizing various waste streams, including agricultural residues like avocado hard waste. The growing demand for avocado has led to a significant increase in waste along the supply chain, including a significant fraction in the form of rejected avocados. The former situation represents a major economic opportunity for Colombia (as leading producer of

avocado), to enhance material management, boost economic performance, and support vulnerable rural populations. However, the intrinsic safety aspects of these technologies have been scarcely studied. Since cascade biorefineries are based on green chemistry principles, the safety of these processes must be addressed through the concept of inherently safe design (ISD). Therefore, an inherent safety analysis was applied to identify and assess the risks of a cascade biorefinery that processed avocado hard waste from the south Colombian region. Several databases were used to determine safety data of substances in the process, like flammability, explosive limits, threshold limit value, etc. Additionally, data from extended mass and energy balance were collected to assess process operating conditions (inventory, temperature, and pressure). The results showed that the process is slightly unsafe, with an overall inherent safety score of 25, and achieved a performance of 96 % relative to the neutral operation point (24). Chemical risks represented the most critical challenges of the process, with a score of 16, with exothermic reactions, hazardous substances, and dangerous chemical interactions being the more significant sources of risks, especially for the polylactic acid production subprocess. On the other hand, the process safety indicator scored 9, indicating that these aspects are not a major source of risk, as the process had mostly mild operating conditions (low temperatures, pressures and inventory); with equipment being the only significant risk factor, as reactors with unsafe reactions are presented. Nonetheless, the safety structure sub-index for this process was 2, as no clear and recognizable risks existed (at least in the literature) for this type of scheme at the scale analyzed (small scale). The overall analysis showed that these technologies can potentially intensify agricultural productive chain safely enough for the producing regions. Nonetheless, the valorization of agricultural waste is a complex endeavor, the increase of the portfolio of products requires a higher number of processing units, that at the same time provokes the escalation of unsafe conditions.

The safety inherent analysis identified significant risks of the process and its magnitude, however, still more data is needed as these emerging technologies safety data is scarce. Finally, replacing acid hydrolysis with enzymatic hydrolysis, along with another method for bioactive extraction, it is recommended to reduce inherent risks.

*Palabras clave:* avocado hard waste, cascade biorefinery, inherent safety, bioeconomy, waste valorization.

---

## Estudio Predictivo del Límite Inferior y Superior de Inflamabilidad (LFL y UFL) en Mezclas Cosméticas Convencionales

*Valentina De la Rosa Murillo, Mariana  
Pérez González, Jeffrey León-Pulido*

Universidad Ean  
vdelaro48299@universidadean.edu.co,  
mperezg89974@universidadean.edu.co, jleonp@universidadean.edu.co

La innovación en cosmética sostenible ha impulsado el uso de ingredientes naturales, aceites esenciales y extractos volátiles, muchos de los cuales poseen propiedades inflamables que requieren atención en el diseño seguro de procesos. Este proyecto propone el desarrollo de un modelo predictivo para la estimación de los límites de inflamabilidad (LFL y UFL) en mezclas cosméticas, integrando principios de Química Verde y herramientas de Inteligencia Artificial (IA). A partir de una base de datos experimental y bibliográfica de componentes comúnmente utilizados en formulaciones cosméticas sostenibles, se estructurará un modelo de aprendizaje automático capaz de predecir los rangos de inflamabilidad según composiciones y condiciones de proceso, minimizando riesgos asociados en etapas de producción, almacenamiento y transporte. La

metodología contempla la caracterización fisicoquímica de ingredientes clave, la simulación del comportamiento de mezclas multicomponente y la validación del modelo con pruebas piloto en condiciones controladas. Asimismo, se plantean lineamientos para el diseño de procesos seguros, incluyendo recomendaciones, temperatura de operación, y almacenamiento. Como resultado, se busca proveer a la industria cosmética de una herramienta predictiva que permita anticipar escenarios de riesgo y procesos bajo criterios de seguridad y sostenibilidad. Este proyecto aporta no solo a la innovación en cosmética verde, sino también a la cultura de seguridad industrial, contribuyendo a la prevención de accidentes y al cumplimiento normativo en la industria química y cosmética.

*Palabras clave:* Límite inferior de inflamabilidad, límite superior de inflamabilidad, cosmética verde, química verde, seguridad de procesos

---

## Revisión de casos de aplicación de las técnicas bow tie, hazop y hazid para análisis de incidentes asociados a la operación de plataformas marinas para extracción de gas y petróleo

*María Fernanda Moreno Romero, Jorge Leonardo Perez Lagares, Juliana Puello Méndez, Dairo José Patiño Cardoza*

Universidad de San Buenaventura Cartagena  
mafe\_131999@hotmail.com, Jorge\_perezlagares@hotmail.com,  
jpuello@usbctg.edu.co, djpatinoc@miusbctg.edu.co

### Resumen

Las operaciones en plataformas marinas implican riesgos que pueden ser identificados y mitigados haciendo uso de técnicas de análisis tales como BOW TIE, HAZOP y HAZID. El presente trabajo de grado identifica y analiza la aplicabilidad de las tres técnicas, describiendo inicialmente la técnica de

análisis de peligros BOW TIE en un incidente ocurrido en una plataforma marina. Seguidamente se explica la implementación de la técnica de evaluación de riesgos HAZOP en la puesta en marcha del proceso de inyección de metanol a un pozo de gas offshore, y por último, se detalla la implementación de la técnica HAZID, identificando de manera global los peligros que poseen las plataformas marinas de petróleo y gas, estableciendo causas y consecuencia comunes entre los accidentes que destacan en la industria. A partir de la revisión de cada caso, se propone una serie de recomendaciones que contribuyen con la prevención y minimización de futuros accidentes.

*Palabras clave:* HAZOP, HAZID, BOW-TIE, plataformas costa afuera, seguridad de procesos.

---

## Real-Time Sulfide Monitoring in Sulfidogenic Bioreactors Using Microfluidic Technology

*David Camilo Cueto Ferreira*

Universidad de la Costa  
david.cueto-ferreira.ext@veolia.com

Online measurement of parameters is crucial for ensuring appropriate reactor performance and efficiency. This is even more critical in biological processes, where low concentrations of inhibiting compounds can affect reactor performance, as is the case in anaerobic reactors where sulfate is converted into H<sub>2</sub>S by sulfate-reducing bacteria. High concentrations of undissociated H<sub>2</sub>S are well known to inhibit microbial growth. This work aims to propose a sulfide online monitoring system for sulfidogenic reactors to track biological sulfide production. The system was developed based on the lab-on-chip (LOC)

concept, which enables analytical measurements through a miniaturized system. An online monitoring system was designed and developed as a microdevice on a 3D-printed platform to monitor sulfide production in sulfidogenic reactors. The system was developed in three steps: (1) system fabrication, (2) analytical evaluation, and (3) system validation. The microdevice was printed using copolyester filament, incorporating an Ag/Ag<sub>2</sub>S working electrode and an external commercial double-junction Ag/AgCl reference electrode. The analytical evaluation demonstrated that the working range was from 0.8 to 38,400 mg S<sup>2-</sup> L<sup>-1</sup>, with repeatability and reproducibility tests showing relative standard deviations below 5%. However, the working period was limited to 16 hours, after which the working electrode required electrodeposition or replacement. The system validation was performed using real samples from a sulfidogenic reactor and compared with data from a commercial sulfide-selective electrode. Results were analyzed through linear regression and a t-test. The regression analysis showed a strong linear correlation, with a slope of 1.03 mV·dec<sup>-1</sup> and R<sup>2</sup> of 0.92, while the t-test indicated that the null hypothesis could not be rejected. Finally, further experiments are suggested to identify factors affecting the electrode's useful lifespan and to enhance the correlation between the proposed system and the commercial sulfide-selective electrode.

*Palabras clave:* sulfide measurement, 3-D printing, online monitoring.

---

## Diseño de un Sistema de Control Óptimo Automático para la Eliminación de H<sub>2</sub>S en Procesos de Generación Hidroeléctrica

*<sup>1</sup>Jesús Rafael Acevedo Mastrogiacomo, <sup>1</sup>Gabriela Meléndez Plata, <sup>2</sup>Juan Pablo Romero Sánchez, <sup>2</sup>Hector Lizcano Tarazona, <sup>2</sup>Juan Diego Acero Zuluaga, <sup>1</sup>Luis Humberto Reyes Barrios*

<sup>1</sup>Universidad de los Andes, <sup>2</sup>Enel-Colombia  
j.acevedom@uniandes.edu.co, g.melendez@uniandes.edu.co,  
juan.romeros@enel.com, hector.lizcano@enel.com, Juan.acero@enel.com,  
lh.reyes@uniandes.edu.co

La liberación de compuestos volátiles sulfurados en cuerpos de agua contaminados representa un desafío tanto ambiental como operativo, limitando su aprovechamiento en aplicaciones industriales. En particular, la liberación de H<sub>2</sub>S, un gas de elevada toxicidad y fácilmente reconocible por su olor característico, incide en la calidad del aire generando impactos relacionados con la percepción y molestias por sustancias generadoras de olor. Además de inducir-para nuestro caso particular-inestabilidades dinámicas en el proceso de generación hidroeléctrica de la Central Paraíso que usa el agua del río Bogotá. Para mitigar estos efectos, se implementó un sistema de control de olores basado en un biorreactor destinado a la biorremediación, denominado ecofiltro, diseñado para procesar altos flujos de gases conteniendo H<sub>2</sub>S. Los resultados de remoción son prometedores para esta tecnología, con eficiencia de remoción de alrededor del 60%. Dado el régimen operativo actual, resulta fundamental incrementar la eficiencia de remoción, aprovechando los avances en control avanzado de procesos y potencial del modelamiento dinámico predictivo. En este trabajo se presenta un estudio teórico de control avanzado, con miras a su futura de ser implementado en planta real. Esta formulación, que integra modelamiento

dinámico y control avanzado permite caracterizar, mejorar y estabilizar el comportamiento transitorio del ecofiltro. Modelando el sistema como un reactor de flujo pistón (PFR), se utilizaron las ecuaciones de Diks y Ottengraf, acopladas al modelo de Onda, Takeuchi y Okumoto, para describir los fenómenos de transferencia de masa y conversión biológica. La validación del modelo mediante datos experimentales arrojó un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) del 90 %, lo cual evidencia su capacidad predictiva sobre el comportamiento del equipo. Posteriormente, el modelo se extendió a una ecuación diferencial parcial (PDE) hiperbólica de primer orden para capturar las dinámicas espaciotemporales del sistema. Con base en este modelo, se diseñó e implementó un controlador predictivo basado en modelos (MPC por su sigla en inglés) en lazo cerrado (closed loop) y con operación off-line, formulado mediante enfoque de optimización cuadrática con restricciones (QP). Este controlador incorpora un horizonte de predicción adaptable y una penalización matricial asimétrica, lo que permite minimizar una función objetivo basada en desviaciones respecto a trayectorias de referencia y con acciones de control. La estructura parametrizada del MPC facilita además la actualización en tiempo real de los coeficientes del modelo, permitiendo un sistema de ajuste parametrizado, garantizando la adaptabilidad ante condiciones ambientales fluctuantes. La evaluación teórica del desempeño en lazo cerrado mostró una convergencia estable, alcanzando una eficiencia del 90 % en la eliminación de  $H_2S$  y manteniendo concentraciones de salida inferiores a 5 ppm, cumpliendo con las condiciones de diseño óptimo establecidas. En conclusión, el acoplamiento entre modelado físico-químico y control avanzado presenta un alto potencial para mejorar el desempeño del ecofiltro, y garantizar la estabilidad del sistema bajo perturbaciones externas. El enfoque propuesto representa una alternativa eficaz para mitigar emisiones contaminantes, mejorar la

estabilidad operativa del sistema y contribuir a una gestión ambiental más eficiente.

*Palabras clave:* Control de olores, modelamiento, control automático, biorremediación, MPC.

---

## Sostenibilidad y medio ambiente

La sostenibilidad dejó de ser un anexo para convertirse en el marco de decisiones de la industria de procesos. En América Latina una de las regiones más biodiversas y a la vez más expuestas a variabilidad climática operar con criterios ambientales sólidos es condición para la competitividad, la licencia social y el acceso a mercados. Colombia refleja bien ese reto: abundancia hídrica pero alta variación estacional, cuencas sensibles, áreas urbanas con episodios de calidad del aire, y una base empresarial que migra hacia la circularidad, la eficiencia y la descarbonización sin perder productividad.

La premisa que guía este capítulo es simple, buena ingeniería es buen ambiente. Diseñar y operar con eficiencia, prevención y datos confiables reduce costos, riesgos e impactos, y fortalece la relación con el entorno. Aquí encontrarás criterios prácticos, listas de verificación y ejemplos regionales para convertir la sostenibilidad en resultado medible: menos emisiones y consumo, mejor calidad de agua y aire, menor residuo, procesos robustos y comunidades que confían.

## Evaluación de la actividad enzimática de la bromelina obtenida a partir de la cáscara de *Ananas comosus* en dos variedades (oro miel y cayetana lisa)

*Juan Camilo Muñoz Arroyo, Daniela Saray  
Ortiz Romero, Estefany Pájaro Contreras*

Universidad de San Buenaventura  
jcmunoz@miusbctg.edu.co, dsortizr@miusbctg.edu.co,  
estefany\_pajaro@hotmail.com

### Resumen

En todo el mundo, el manejo inapropiado de residuos orgánicos es un problema crucial para el desarrollo sostenible. Este fenómeno no solo impacta el medio ambiente, sino que también tiene serias repercusiones en la salud pública y el bienestar social. En Colombia, se generan alrededor de 31.31 millones de toneladas de residuos sólidos y productos residuales anualmente. Cada año, se generan más toneladas de residuos orgánicos, de las cuales una gran parte termina en vertederos. Este fenómeno contribuye significativamente a la emisión de gases de efecto invernadero y al cambio climático (Objetivo de Desarrollo Sostenible [ODS] 13), y no solo agrava la crisis ambiental, sino que también repercute directamente en la salud pública y el bienestar social (ODS 3). En Colombia, con aproximadamente 32 700 hectáreas dedicadas al cultivo de piña, es crucial gestionar adecuadamente los residuos generados, las áreas para cultivarlas van en aumento cada año, lo que incrementará también la producción de residuos orgánicos. Su reutilización, entonces, no solo reduce la cantidad de desechos en vertederos, sino que también ofrece beneficios económicos y ambientales. Los productos fabricados a partir de la piña generan un volumen significativo de subproductos, como cáscaras, coronas y bagazo, que en su mayoría no son aprovechados de manera eficiente. Estos residuos pueden transformarse en productos de mayor valor agregado, como

la enzima bromelina, que tiene aplicaciones en las industrias cárnica, farmacéutica y en la marroquinería. Este estudio se enfoca en analizar el efecto de la variedad de piña (oro miel y cayetana lisa) en la actividad enzimática de la bromelina, extraída de las cáscaras mediante un proceso que incluye molienda, filtración, precipitación y centrifugación. Este proyecto está alineado con varios ODS, como la producción y consumo responsables, la acción por el clima, las alianzas para lograr los objetivos y la vida en ecosistemas terrestres. La bromelina se extrajo gracias a un método mecánico para forzar la ruptura de las células y se empleó el método de Kjeldahl para determinar el contenido nitrógeno en las cáscaras de piña. La actividad enzimática de la bromelina extraída de las dos variedades de piña estudiadas se evaluó mediante espectrofotometría UV-Vis. Asimismo, se emplearon métodos cualitativos para determinar la presencia de la enzima. Este procedimiento abrió la posibilidad de verificar cuál de las dos variedades de piña presenta una mayor actividad enzimática.

*Palabras clave:* residuos orgánicos, bromelina, sostenibilidad, piña, actividad enzimática.

---

## Implementación del método WEP para el análisis técnico de un proceso de producción de policloruro de vinilo con reciclaje directo integrado energéticamente y másicamente

*Linda Mychell Puello Castellón, Rolando Manuel Guardo Ruiz, Ángel Darío González Delgado*

Universidad de Cartagena

lpuelloc2@unicartagena.edu.co, rguardor@unicartagena.edu.co,

agonzalezdl@unicartagena.edu.co

### Resumen

El policloruro de vinilo, comúnmente conocido como PVC, es uno de los materiales con mayor utilidad en la sociedad actual, debido a sus propiedades físicas para cumplir con diferentes funciones. En general, se caracteriza por ser ligero, impermeable y duradero. El PVC se produce a partir de polimerización y para ello se utiliza monoclóruo de vinilo (MVC) en conjunto con agua e iniciador. El MVC representa diferentes peligros: es cancerígeno, tóxico, explosivo, entre otros; por tal motivo, resulta fundamental aprovechar la máxima cantidad posible de este monómero para disminuir su uso, ya que debido a sus propiedades y riesgos, resulta costosa su utilización. Adicionalmente, otro factor que desempeña un papel importante en el proceso de polimerización es el consumo de agua, pues la producción de PVC consume grandes cantidades de este fluido, al tener una reacción en fase acuosa, y afecta la economía del proceso, por el costo general, a raíz del consumo de agua potable y el tratamiento del agua residual. En vista de optimizar el proceso y reducir el consumo de MVC y agua, se opta por llevar a cabo una recirculación de estos, disminuyendo los volúmenes de materia prima y agua potable. Una vez implementada la recirculación directa del agua en el proceso, se hace fundamental conocer, desde un punto de vista cuantitativo, el efecto de estas modificaciones sobre los

parámetros técnicos de desempeño del sistema. El objetivo de este trabajo fue evaluar la viabilidad técnica de la recirculación directa del agua en el proceso de producción de PVC, mediante indicadores de interacción agua-energía-producto (WEP), tomando como referencia el método mencionado, utilizado en un artículo que evaluaba la producción de PVC sin aplicar recirculación directa del agua. Este método se basa en calcular indicadores relacionados con el producto, el agua y la energía, presentes en la polimerización y enfocados en el rendimiento de producción del producto, consumo de agua y de energía, producción de agua residual y desempeño general del sistema. Con este procedimiento se realizó el análisis técnico de polimerización del PVC con recirculación directa de agua, demostrando unos resultados positivos con un desempeño del 47.1 % en el consumo fraccional del agua, un 42 % en la proporción de producción del agua residual y un aprovechamiento del 100 % del material no convertido reutilizado. Así se demostró una mejoría en el proceso, sin afectar el rendimiento de producción con un desempeño del 99.8 %. Con estos resultados, se concluye que implementar la recirculación directa del agua en el proceso de producción de PVC resulta en una mejoría evidente, en vista de aprovechar de mejor manera el consumo de agua en el sistema, sin afectar el desempeño global en la producción de PVC.

*Palabras clave:* recirculación directa, integración másica, PVC, evaluación técnica, análisis WEP.

---

## Análisis técnico WEP de la integración másica con regeneración de un proceso de producción de policloruro de vinilo

*<sup>1</sup>Eduardo Andrés Aguilar Vásquez, <sup>2</sup>Miguel Ramos Olmos, <sup>1</sup>Ángel Darío González Delgado*

1Universidad de Cartagena, 2Universidad Minuto de Dios  
eaguilarv@unicartagena.edu.co, mramos2@unicartagena.edu.co,  
agonzalezdl1@unicartagena.edu.co

### Resumen

El uso eficiente de los recursos másicos y energéticos es crucial para la competitividad y viabilidad de los procesos químicos industriales. El método de producción de policloruro de vinilo (PVC) por suspensión tiene un importante consumo de agua fresca, junto con la emisión significativa de agua residual. Este uso ineficiente de los recursos hídricos obliga aplicar técnicas de integración de procesos, como la integración másica (de agua). La aplicación de la integración másica al proceso de PVC ha demostrado que es efectiva en disminuir el consumo de agua del proceso mediante el reciclado de aguas residuales. No obstante, solo el reciclado directo se ha empleado para generar redes de aprovechamiento y este enfoque limita el aprovechamiento de los efluentes, debido a la alta presencia de contaminantes en alguno de estos. Por ende, en el presente estudio se aplicó la integración másica con regeneración al proceso de PVC por suspensión y se evaluaron sus efectos mediante el análisis WEP. La integración se realizó mediante el mapa de fuentes y sumideros, siguiendo las reglas de emparejamiento expuestas por El-Halwagi. El *software* AspenPlus se empleó para simular el proceso integrado, e incluye el sistema de regeneración y el reciclado/reuso de las corrientes (método de Broyden). A partir de la simulación se extrajeron datos del proceso para analizar su desempeño mediante el análisis WEP. Así, con la integración másica se redujo el consumo de agua fresca en un 61 %, y el agua

residual, en un 83 %. No obstante, todavía existen 258.6 t/día de agua residual remanentes. El análisis WEP encontró que el proceso tiene un desempeño alto (>90 %) en el manejo de la materia prima (monómero de cloruro de vinilo) y el producto del proceso (PVC), esto gracias al uso de equipos eficientes y sistemas de recuperación de material de valor. La integración másica beneficia el desempeño del manejo de agua del proceso significativamente, respecto al consumo fraccional de agua: incremento del 34 % al 83 % para la producción de agua residual, del 20 % al 63 % y del 8 % al 72 % para los costos por agua fresca. Todo esto debido a la reducción del consumo de agua mediante el reúso de efluentes del proceso. Para el desempeño del proceso en materia energética, existen resultados mixtos. Ambos procesos presentan un consumo alto de energía; pero el caso integrado es mayor respecto al caso base. Los indicadores de consumo de gas natural, de electricidad y de costos de energía se vieron afectados por el sistema de regeneración, disminuyendo en comparación con el caso base (aumento de los requerimientos energéticos). No obstante, la integración de las corrientes de fondo de torre y de aire para el secador aportan ahorros significativos (11 MJ/h). Por último, el desempeño del proceso se beneficiaría si la integración másica se expande para abarcar los equipos empleados para proporcionar los servicios industriales; además, es crucial un análisis económico riguroso para determinar la viabilidad del sistema.

*Palabras clave:* polímeros, PVC, sostenibilidad, WEP, integración másica, ingeniería de procesos asistida por computadora.

---

## Un enfoque conjunto de análisis de exergía y resiliencia exergética para la evaluación de un proceso de producción de PVC integrado en masa y energía

<sup>1</sup>Eduardo Andrés Aguilar Vásquez, <sup>2</sup>Miguel Ramos Olmos, <sup>1</sup>Ángel Darío González Delgado

<sup>1</sup>Universidad de Cartagena, <sup>2</sup>Universidad Minuto de Dios  
eaguilarv@unicartagena.edu.co, mramos2@unicartagena.edu.co,  
agonzalezd1@unicartagena.edu.co

### Resumen

Debido a la actual crisis climática, el estudio del uso de energía en los procesos químicos se ha vuelto relevante con miras hacia una operación sostenible. El análisis de exergía permite estudiar el uso de la energía y su destrucción, incluyendo la energía proveniente de masa y utilidades; así como adoptar estrategias para mitigar impactos y mejorar la eficiencia del proceso (como el consumo de agua), bajo criterios energéticos. Por ello, se propone un análisis exergético para estudiar la gestión energética de un proceso integrado de producción de policloruro de vinilo (PVC) por suspensión. Los balances ampliados de masa y energía del proceso se obtuvieron de un *software* de simulación, junto con las propiedades termodinámicas de sustancias puras y mezclas. A partir de esta información, se calcularon las exergías química y física, y se determinaron parámetros de exergía por etapa y para todo el proceso. El análisis mostró que el proceso tiene una gestión energética eficiente (84%), lo que indica que las unidades incluidas para integrar el agua son eficaces en mantener exergía valiosa en el proceso como producto, con irreversibilidades y pérdidas inevitables reducidas. Por otro lado, el sistema redujo drásticamente las pérdidas evitables en la etapa de secado al recuperar el PVC remanente. Se encontró que la etapa de recuperación de monoclóruo de vinilo tuvo un desempeño deficiente, con la menor eficiencia

exergética, debido principalmente a pérdidas inevitables. Además, se realizó un análisis de sensibilidad que determinó que el efecto del sistema integrado sobre la exergía depende de la capacidad de las unidades utilizadas para recuperar agua y de la calidad del producto. Si se recupera toda el agua, se logra una reducción de irreversibilidades de hasta el 56 %. Sin embargo, las pérdidas inevitables son la principal fuente de destrucción de exergía en el proceso; reducirlas tiene el potencial de aumentar significativamente la eficiencia, lo que incluye las pérdidas en las etapas de recuperación y reacción. También se recomienda ampliar el análisis para estudiar las corrientes de utilidades (calefacción, combustible y refrigerantes), junto con la integración energética.

*Palabras clave:* PVC, sostenibilidad, análisis exergético, polimerización, ingeniería de procesos asistida por computador.

---

## Tratamiento de vinazas de etanol de caña de azúcar: efecto de la cavitación hidrodinámica en la remoción de color y polifenoles

*Segundo Alberto Vásquez Llanos, Keyla Castillo Bocanegra,  
Ada Patricia Barturen Quispe, Carmen Carreño Farfán,  
Sebastián Huangal Scheineder, Marilín Sánchez Purihuahán*

Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

svasquezll@unprg.edu.pe, kcastillob@unprg.edu.pe, abarturen@unprg.edu.pe, ccarreno@unprg.edu.pe, shuangal@unprg.edu.pe, msanchezpu@unprg.edu.pe

### Resumen

La producción de etanol genera grandes cantidades de aguas residuales conocidas como *vinazas*, caracterizada por un color marrón oscuro y una composición que las convierte en un desafío ambiental significativo. Por cada litro de alcohol

producido, se generan entre 12 y 15 litros de vinaza, que presentan una elevada demanda química y bioquímica de oxígeno, un pH bajo, altos sólidos disueltos, compuestos fenólicos recalcitrantes (como melanoidinas y polifenoles) y un olor desagradable. Estas propiedades hacen que las vinazas sean altamente contaminantes y difíciles de gestionar con métodos convencionales, debido a sus elevados costos y baja escalabilidad. En ese contexto, la cavitación hidrodinámica ha emergido como un enfoque prometedor, sostenible y eficiente para el tratamiento de aguas residuales. Aunque se han realizado estudios previos sobre cavitación en aguas residuales de destilerías, no se han llevado a cabo estudios específicos sobre la remoción de contaminantes en vinaza de etanol utilizando cavitación hidrodinámica con placas de orificio. Este estudio evaluó el efecto de la presión de entrada a la placa de orificio (2 y 3.6 Bar) y el número de orificios en la placa (9 y 16) sobre la remoción de color y polifenoles en vinazas diluidas (relación 1:10) y ajustadas a un pH ácido de 2. Mediante un diseño factorial 2k, se determinó que la interacción entre la presión de entrada y el número de orificios tiene un efecto significativo en la eficiencia de remoción de color y polifenoles. Según los resultados, la configuración óptima, utilizando una placa de 9 orificios a una presión de entrada de 3.6 Bar, fue más eficiente, al lograr una remoción máxima de color del 32.71 % y del 88.62 % en polifenoles durante 20 min de tratamiento, con un rendimiento de cavitación de 0.00365 mg/J. Sin embargo, tiempos de tratamiento más prolongado no favorecieron la eficiencia. Estos hallazgos demuestran que la cavitación hidrodinámica es una alternativa viable para reducir la toxicidad de las vinazas alcohólicas y contribuir a mejoras ambientales para la industria del alcohol.

*Palabras clave:* vinazas, cavitación hidrodinámica, polifenoles, color, rendimiento cavitacional.

---

## Uso de biocarbón de cascarilla de arroz para la remoción de tetraciclina en agua: análisis cinético e isotérmico

<sup>1</sup>Segundo Alberto Vásquez Llanos, <sup>2</sup>Danna N. Guevara Fernández, <sup>2</sup>Lilibeth L. Sausa Burga, <sup>1</sup>Ada P. Barturen Quispe, <sup>1</sup>Carmen Carreño Farfán, <sup>1</sup>Sebastián Huangal Scheineder

<sup>1</sup>Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, <sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo  
svasquezll@unprg.edu.pe, dguevaraf@unprg.edu.pe,  
lsausab@unprg.edu.pe, abarturen@unprg.edu.pe, ccarreno@unprg.edu.pe,  
shuangal@unprg.edu.pe

### Resumen

La tetraciclina (TC), como contaminante emergente, persiste en sistemas acuosos, lo cual dificulta su eliminación con métodos convencionales y representa una amenaza significativa para la salud humana, animal y ambiental. Entre los adsorbentes disponibles, el biocarbón, derivado de la descomposición térmica de residuos agrícolas, forestales o lodos municipales, destaca como un recurso económico. Este material ha recibido gran interés debido a su abundante disponibilidad de materias primas, estructura de poros comparativamente desarrollada y numerosos grupos funcionales. Como resultado, el biocarbón ha ganado aceptación como un adsorbente eficaz, respetuoso con el medio ambiente y rentable para eliminar la TC del agua. Una alternativa viable para la adsorción de TC es el biocarbón derivado de la cascarilla de arroz, un residuo agrícola ampliamente disponible. Diversos estudios han demostrado la eficacia de la estructura porosa del biocarbón de cascarilla de arroz (BCA). También se ha

reportado que, utilizando temperaturas de activación elevadas y medios de pH ácidos, se logra una capacidad máxima de adsorción de TC. Sin embargo, estos estudios se han centrado principalmente en el empleo de cenizas de cascarilla, carbón activado o biocarbón de pajilla de arroz, lo que implica costos elevados y el uso intensivo de productos químicos, que incrementan el impacto ambiental asociado. El objetivo del presente estudio fue evaluar y optimizar la remoción de TC en solución acuosa mediante el uso de BCA carbonizado a diferentes temperaturas, empleando el diseño experimental de Taguchi para identificar las variables con mayor influencia en el proceso de adsorción. Las muestras de cascarilla de arroz se carbonizaron a las temperaturas de 500, 625 y 750 °C durante 1 h y se rotularon como BCA500, BCA625 y BCA750, respectivamente. La muestra BC750 mostró una eficiencia de remoción superior, alcanzando valores en el rango del 92 y el 98 % bajo condiciones experimentales y un máximo optimizado del 99.5 %, según el análisis de relación señal/ruido (S/N). El BCA750 demostró su eficacia debido a que presentó mayor área superficial BET y volumen total de poros, factores determinantes en su capacidad adsorbente. La dosis óptima de adsorbente fue de 20 g/L para una concentración de 50 mg/L de TC con un tiempo de contacto de 4 h, siendo el factor más importante en la variabilidad del proceso ( $p < 0.05$ ). Los datos cinéticos se ajustaron al modelo de seudosegundo orden; mientras que los resultados isotérmicos se alinearon con el modelo de Langmuir, lo cual indica que la interacción entre el BCA y la TC ocurre predominantemente a través de reacciones químicas en monocapa sobre superficies homogéneas. Los resultados evidencian que el BCA750 es un adsorbente altamente eficiente para la remoción de TC, ofreciendo un enfoque sostenible y rentable para el tratamiento de aguas contaminadas.

*Palabras clave:* biocarbón, tetraciclina, adsorción, antibiótico, Taguchi.

*Maya Sian Caycedo García*

Universidad de Santander  
may.caycedo@mail.udes.edu.co

### Resumen

La diversificación de esta matriz energética en Colombia debe impulsar la creación de proyectos que aumenten la capacidad de generación de energía renovable. Igualmente, se promueve la participación de indígenas, campesinos y afrodescendientes. La política busca garantizar que estos proyectos respeten los derechos de las comunidades, el medio ambiente y la justicia social. Esto incluye formación de habilidades, empleos verdes y proyectos de desarrollo que diversifiquen las economías locales y la conservación de ecosistemas donde se prioriza la protección de ecosistemas estratégicos, como la Amazonía y los páramos, frente a actividades extractivas. El Gobierno marca cinco áreas: soberanía sanitaria, soberanía alimentaria, transición energética justa, bioeconomía y ciencia para la paz. Áreas que con las que la Universidad de Santander se alinea a través de sus focos de investigación. De este modo, siguiendo los parámetros necesarios para realizar la transición energética justa, se presentan tres proyectos que ilustran de qué modo la comunidad académica aliada con la cuádruple hélice puede integrarse con el desarrollo comunitario y la justicia social: 1) economía circular desde el hogar con energías limpias derivadas de residuos orgánicos; 2) estudio para el aprovechamiento de lodos de relave minero como agente cementante para la construcción de infraestructura vial (Vetas, Santander), y 3) valoración cultural y diseño de un sendero interpretativo en la “ruta del cóndor” (Cerrito, Santander). Estos proyectos demuestran cómo la transición energética justa puede materializarse en comunidades rurales. La participación activa de las comunidades y el enfoque en sus necesidades específicas son

esenciales para garantizar que los beneficios de la transición energética sean equitativos y sostenibles.

*Palabras clave:* biorrefinerías, empleos verdes, tecnologías limpias, economía circular.

---

## Proceso de biorrefinería basada en hidrólisis en agua subcrítica fraccionada de residuos de corte de caña y análisis de ciclo de vida comparativo

*Víctor Marulanda, Gabriel Morales*

Universidad del Valle  
victor.marulanda@correounivalle.edu.co,  
gabriel.morales@correounivalle.edu.co

### Resumen

La biorrefinería convencional se basa comúnmente en los procesos de hidrólisis ácida y enzimática para la obtención de azúcares a partir de la hemicelulosa y celulosa, seguidos por distintos procesos fermentativos. No obstante, barreras relacionadas con la corrosión y formación de inhibidores, así como el alto costo de las enzimas, aún necesitan superarse. Recientemente, se ha propuesto la hidrólisis en agua subcrítica como alternativa al proceso ácido-enzimático, ya que incorpora de forma simultánea la despolimerización, la reacción y la separación de azúcares con altas productividades y tiempos de reacción cortos. Así mismo, se ha reportado que es posible conducir de forma fraccionada la hidrólisis por medio solo del control de la temperatura; sin embargo, los experimentos con equipos semicontinuos emplean relaciones en masa de agua a biomasa (S/F) muy altas, lo cual puede traer desventajas asociadas al alto consumo energético para calentamiento, presurización y evaporación del agua del hidrolizado. Por lo tanto, en este estudio se formula y simula en Aspen Plus un

esquema conceptual de una biorrefinería basada en hidrólisis fraccionada usando agua subcrítica de residuos de corte de caña para la obtención de azúcares a partir de la fracción hemicelulósica y celulósica, a través de un arreglo compuesto por reactores en paralelo para aproximar una operación continua. Así se obtuvieron los balances de materia y energía para valores de S/F desde 7.5 hasta 24, teniendo en cuenta la información experimental de productividad reportada. Los resultados obtenidos se compararon con el proceso convencional modelado de acuerdo con información de la literatura a través de un análisis de ciclo de vida (ACV). Los resultados mostraron un desempeño ambiental inferior del proceso de hidrólisis en agua subcrítica con S/F de 12 y 24, lo cual es resultado de la energía necesaria para calentamiento y evaporación en comparación con el proceso convencional. No obstante, con un S/F de 7.5 el desempeño ambiental del proceso de hidrólisis en agua subcrítica fue mejor en 12 de las 18 categorías evaluadas, lo cual se atribuyó no solo a la reducción de la demanda energética para calentamiento y evaporación, sino también a la eliminación de las cargas ambientales asociadas a materias primas como lo son ácidos y enzimas. El ACV comparativo permitió concluir que la investigación en el proceso subcrítico debe hacerse en torno a la reducción de la relación S/F, con el fin de avanzar en la viabilidad técnica del proceso.

*Palabras clave:* hidrólisis en agua subcrítica, biorrefinería, residuos de corte de caña, análisis de ciclo de vida.

---

## Evaluation of the Sustainability of Cowpea Bean Production in the Colombian North Coast Using Emergy Synthesis

*Lourdes Isabel Meriño Stand, Angelo Consuegra Villamil, Oskar Jiménez Méndez*

Universidad del Atlántico  
lourdesmerino@mail.uniatlantico.edu.co,  
angeloconsuegra5@gmail.com, osjjimenezme@gmail.com

### Resumen

This study evaluates the sustainability of cowpea (*Vigna unguiculata*) cultivation on Colombia's north coast using the emergy synthesis method. A flow diagram, based on Odum's approach, was developed to quantify energy inputs categorized as renewable, non-renewable, and imported. Key sustainability indicators were calculated, revealing an Environmental Load Index (ELR) of 1.8, indicating moderate environmental pressure, and an Emergy Sustainability Index (ESI) of 1.4, suggesting that traditional cultivation is unsustainable in the long term, primarily due to a 41% reliance on imported emergy, mainly labor. To address this limitation, a modernized cultivation scenario incorporating mechanization was proposed. This approach led to a redistribution of emergy inputs, where renewable resources became the dominant input (41%), while imported (32%) and non-renewable emergy (27%) decreased. As a result, the ESI increased to 2.1, reflecting a significant improvement in sustainability and energy efficiency. These findings emphasize the critical role of technological interventions in improving the sustainability of small-scale agriculture. The study contributes to the growing body of research on emergy synthesis by providing empirical evidence of how mechanization can optimize resource allocation and reduce dependency on external inputs. The emergy synthesis framework proves to be a robust tool for sustainability assessments, offering valuable insights for policymakers and

farmers seeking to balance productivity with environmental conservation in agricultural systems.

*Palabras clave:* emery synthesis, cowpea, sustainability, agricultural sustainability, mechanization, resource efficiency.

---

## Estudio de la transesterificación de aceite de cocina usado empleando butanol y alcohol isoamílico

*Juan Guillermo Cadavid Estrada, Paulo César Narváez Rincón, Cristian Nicolás Castro Vargas, Mónica Andrea Quitián Mateus, Jonatan Yesid Martínez Almanza, Anamaría Zambrano Gómez*

Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá  
jgcadavide@unal.edu.co, pcnarvaezr@unal.edu.co,  
crcastrov@unal.edu.co, mquitianm@unal.edu.co, jomartinezal@unal.edu.co,  
anzambranog@unal.edu.co

### Resumen

El aceite de cocina usado (ACU) es una mezcla compuesta por triacilglicerol, por los componentes transferidos desde los alimentos al aceite, así como productos de degradación generados durante el proceso de freído. Se estima que en Bogotá se recolecta entre el 10 % y el 30 % del ACU que produce la ciudad, y que este se refina y comercializa para su posterior transformación, principalmente en biodiésel. El ACU que no se recolecta se desecha o se redistribuye ilegalmente como aceite nuevo, lo que representa un problema para el medio ambiente y para la salud. En la actualidad, la producción de biodiésel es económicamente viable bajo un esquema subsidiado, por lo que se ha identificado la necesidad de implementar otras estrategias de valorización del ACU, a través de su transformación en productos de mayor valor agregado, como epóxidos y polioles. La obtención de epóxidos a partir de aceites y grasas se puede hacer empleando triacilglicerol,

ácidos grasos o alquilésteres de ácidos grasos. La epoxidación de triacilgliceroles ha sido el proceso más estudiado (referencias), y mediante esta se obtienen epóxidos de alto peso molecular, pero con baja polaridad. En el caso de los ácidos grasos y los alquilésteres, el peso molecular no es tan elevado, pero la polaridad es mayor. Dado que el uso de ácidos grasos genera problemas de corrosión, la mejor alternativa parece ser la epoxidación de alquilésteres, pero se requiere que estos se produzcan mediante transesterificación de triacilgliceroles con alcoholes primarios. La transesterificación de aceites y grasas ha sido ampliamente estudiada en la producción de biodiésel usando metanol; sin embargo, hay dos inconvenientes en relación con el uso de ésteres metílicos para la producción de epóxidos: 1) se ha identificado que cuando se usan epóxidos obtenidos a partir de ésteres grasos de alcoholes de cadena corta, se presenta migración (exudación) de las películas de policloruro de vinilo, y 2) el metanol se obtiene como derivado petroquímico, lo que afecta la huella de carbono asociada a los productos que se obtienen a partir de él. Así, en este proyecto se estudió la producción de alquilésteres de ácidos grasos, mediante transesterificación de ACU con butanol y alcohol isoamílico, convirtiéndose en el primer paso hacia la obtención de epóxidos biobasados que permiten la valorización del ACU. Inicialmente, el ACU crudo se caracterizó y se trató para eliminar el exceso de ácidos grasos libres y la humedad. Posteriormente, se realizaron los ensayos de transesterificación a escala de laboratorio, empleando catálisis básica homogénea (NaOH), con los dos alcoholes propuestos. Se estudió el efecto de la temperatura, la relación molar ACU tratado a alcohol y el porcentaje de catalizador. Se empleó un diseño experimental de superficie de respuesta tipo Box Behnken. Como variables de respuesta se utilizaron la conversión de triacilgliceroles y el rendimiento hacia alquilésteres, determinadas mediante cromatografía de gases. El análisis estadístico indicó que, para los dos alcoholes empleados, las tres variables estudiadas son significativas individualmente, así como las interacciones

temperatura/relación molar y temperatura/porcentaje de catalizador, tanto para la conversión como para el rendimiento.

*Palabras clave:* ACU, refinación química, transesterificación, butanol, alcohol isoamílico.

## Identificación de microplásticos en sal común proveniente de salinas ubicadas en la costa del Pacífico de Guatemala

Íngrid Lorena Benítez Pacheco, César Alfonso García Guerra, Ana Luisa Isabel Droege Romero

Universidad de San Carlos de Guatemala  
licdaibenitez@gmail.com, chechalgar@yahoo.com, ana.droege@gmail.com

### Resumen

Los microplásticos (MP) se definieron como fragmentos de plástico con una dimensión característica menor de 5 mm. Debido a que no cuentan con valor nutricional y pueden adsorber sustancias perjudiciales, su presencia en los ecosistemas causan daño a la vida marina que los confunde por comida. Se han convertido en un contaminante emergente de importancia y la metodología existente para su monitoreo y análisis se ha recopilado en manuales de procedimientos ambientales. La isla de plástico del Pacífico —la más grande del mundo— se encuentra en el giro del Pacífico norte, entre California y Hawái, y se mueve siguiendo la corriente oceánica del vórtice subtropical del Pacífico norte. Muchos oceanógrafos la han denominado *basurero flotante*, y allí se han detectado botellas, bolsas, pañales, envoltorios, entre otros, lo cual no parece tener fin, tanto que se estima que hacia el año 2050 habrá más plástico que peces. Los MP suponen un 8% del peso total de la isla. Su presencia aumenta la peligrosidad para el ecosistema, ya que al ser de pequeño tamaño dichos fragmentos

son fácilmente consumibles y biomagnificarse en la cadena alimenticia. A lo largo de las playas del Pacífico guatemalteco se ha detectado contaminación por MP, pero la sal común se produce artesanalmente y proviene sobre todo de las costas del Pacífico. Se identificaron dos procesos de producción de sal, y cada proceso se diferencia según la fuente del agua utilizada: por bombeo de agua de mar (BAM) o por bombeo de manto freático (BMF). A partir de esto, la sal está en riesgo de ser un foco de contaminación para la dieta humana en nuestro país; por lo tanto, esta investigación tuvo como objetivo determinar la abundancia de MP en la sal común colectada en la costa del Pacífico de Guatemala. Se identificaron MP en las salinas de la costa del Pacífico de Guatemala, proveniente de los dos procesos de producción: BAM y BMF. Las partículas retenidas se cuantificaron y clasificaron de acuerdo con su forma por estereoscopía; mientras que la composición química se determinó por espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier (FTIR). En ambos procesos se confirmó la presencia de micropartículas contaminantes, entre ellas polietileno y tereftalato de polietileno. El proceso BAM contó con una mayor abundancia, con 733-911 partículas/kg, y las fibras fueron la forma de partícula predominante en ambos procesos (97.0 % en el proceso BAM). La abundancia de MP en el proceso de bombeo de agua es significativamente mayor, comparado con el de BMF, y la forma de partículas predominante para ambos bombeos fueron las fibras. Considerando que la ingesta diaria recomendada de sal común es de 5 g, del límite superior de abundancia encontrado, se estima que un guatemalteco consume respectivamente hasta 1663 y 957 partículas plásticas por año.

*Palabras clave:* residuo plástico, Centroamérica, contaminantes emergentes.

---

## Modelación de calidad del agua como soporte a la toma de decisiones ambientales

*Wilfredo Marimón Bolívar*

Universidad de Cartagena  
wmarimonb@unicartagena.edu.co

### Resumen

La modelación de calidad del agua constituye una herramienta de gran utilidad para la gestión y toma de decisiones por parte de la autoridad ambiental, toda vez que permite el manejo de decisiones de forma más robusta y puede proveer escenarios predictivos derivados de las transformaciones que ocurren en los ecosistemas a partir de los usos de los recursos naturales. En este sentido, analizar dichas transformaciones no solo permite evaluar apropiadamente escenarios prospectivos, sino también —una vez ejecutadas las actividades de los diferentes proyectos—, hacerle un apropiado seguimiento identificando los cambios generados en el tiempo, el ajuste de estrategias de monitoreo y la generación de alertas frente a diferentes condiciones que puedan tener lugar. El propósito de este trabajo fue divulgar lineamientos de lo que se consideran buenas prácticas de modelación de calidad del agua superficial para la toma de decisiones de la gestión integral del recurso hídrico. Dichas recomendaciones aplican para la elaboración y revisión de modelos de usuarios que solicitan permisos o licencias ambientales o personal técnico asociado a la evaluación o seguimiento de proyectos como herramienta para la toma de decisiones en el impacto ambiental generado o potenciales derivado de los permisos. Esta guía no pretende imponer un instrumento ni pretende ser ni remplazar la *Guía nacional de modelización de calidad del agua*, sino estandarizar la forma en que se generan revisan los modelos de calidad del agua y qué se considera o no una buena práctica en el desarrollo de este. Adicionalmente, se presenta un caso de

estudio asociado a la evaluación de impactos acumulativos por proyectos en la Zona Mineral del Cesar.

*Palabras clave:* calidad del agua, gestión del recurso hídrico, modelación ambiental.

## Optimization of the Ozonation Process for the Removal of Antibiotics from Water

*Juan Esteban Escobar Zuluaga, Mauricio Araque González,  
Henry Nelson Zúñiga Benítez, Gustavo Antonio Peñuela Mesa*

Universidad de Antioquia

juan.escobarz@udea.edu.co, mauricio.araqueg@udea.edu.co,

henry.zuniga@udea.edu.co, gustavo.penuela@udea.edu.co

### Resumen

This research focuses on optimizing the removal process of antibiotics from water, including doxycycline (DOX), cephalexin (CPX), and azithromycin (AZT), using ozonation. These substances, commonly used in human and veterinary medicine, enter aquatic systems through wastewater as they are excreted by the body. This poses a significant environmental risk as uncontrolled consumption of antibiotics can conduct to bacterial resistance, which can be highly detrimental in the future. This situation has led to a growing demand for effective methods for removing antibiotics, as these substances are not removed completely in wastewater treatment plants. To address this problem, the use of ozonation was explored, aiming to determine the optimal experimental conditions that lead to higher extents of the pollutants removal. Ozone (O<sub>3</sub>) is commonly used in the purification and treatment of water due to its ability to react with organic substances and eliminate microorganisms. Additionally, ozonation can promote the generation of highly reactive species, such as hydroxyl radicals (HO•), which are potent oxidants capable of breaking

down complex organic compounds. In the conducted tests, the effects of the ozone doses (mg/L), the solution pH, and the reaction time (min) on the antibiotics removal were assessed. In this manner, preliminary experiments were conducted using solutions with a mix of the antibiotics and a concentration of each pollutant of 1.0 mg/L in deionized water at a pH of 7.0 and room temperature (25.0 °C). The solutions were subjected to different ozone flows (0.56, 0.91, and 1.26 mg/L) for 60 minutes. The obtained results indicated that the best antibiotic removal was achieved with an ozone concentration of 1.26 mg/L in 60 minutes. Subsequently, a face-centered central composite experimental design was employed to optimize the target operational conditions. A total of 17 trials were conducted, considering three levels for each factor (low, medium, and high). The pH was evaluated at 3.0, 6.0, and 9.0; the reaction time was 10, 20, and 30 minutes; and the ozone concentration was at levels of 0.21, 0.56, and 0.91 mg/L. The STATGRAPHICS Centurion XIX software was used to analyze and optimize the data. The established optimized conditions were a solution pH of 8.0, an ozone concentration of 0.75 mg/L, and a reaction time of 30 minutes. Under the optimized conditions, it was possible to remove more than 95.0% of CPX and DOX in 30 min of treatment. In the case of AZT, after 60 minutes, its removal was close to 80.0%. In this regard, it is important to note that from minute 30, the concentration of this antibiotic stayed almost constant, and the total antibiotics removal was higher than 90.0%. Finally, it is important to consider that understanding the optimal conditions for each process enables the development of more effective treatment strategies, which can be applied in wastewater treatment plants to mitigate the environmental impact of antibiotic residues.

*Palabras clave:* antibiotics, ozonation, water treatment.

---

## Remoción de azitromicina, cefalexina y doxiciclina empleando tecnologías avanzadas de oxidación basadas en ozono

*Mauricio Araque González, Juan Esteban Escobar Zuluaga,  
Henry Nelson Zúñiga Benítez, Gustavo Antonio Peñuela Mesa*

Universidad de Antioquia

mauricio.araqueg@udea.edu.co, juan.escobarz@udea.edu.co,

henry.zuniga@udea.edu.co, gustavo.penuela@udea.edu.co

### Resumen

En la actualidad, uno de los mayores problemas de salud pública es la rápida propagación de microorganismos con resistencia a los antimicrobianos. La descarga de residuos de antibióticos, como la azitromicina (AZT), la cefalexina (CFX) y la doxiciclina (DOX) ocurre principalmente, debido a su absorción incompleta durante su metabolización y su uso extensivo. Así, estos compuestos se han detectado en diferentes matrices ambientales. Además, su persistencia en cuerpos de agua ha evidenciado las limitaciones de los tratamientos convencionales para remover estas sustancias, lo cual genera la necesidad de desarrollar nuevas alternativas que permitan su total eliminación. En esta investigación se evaluó el potencial uso de tecnologías avanzadas de oxidación basadas en ozono (O<sub>3</sub>, O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>/UV y O<sub>3</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) en la remoción de AZT, CFX y DOX en agua desionizada y en agua residual hospitalaria. La ozonización (pH 8.0, concentración inicial de O<sub>3</sub> de 0.75 mg/L, y concentración de cada antibiótico de 1.0 mg/L) condujo a una reducción del 90.8 % en la presencia total de los contaminantes. Adicionalmente, se llevaron a cabo experimentos agregando peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) al sistema reaccionante. Aumentar o disminuir la concentración de peróxido puede favorecer o inhibir la eliminación de los antibióticos, y dependiendo de cada compuesto, un efecto es más predominante que el otro. En general, la adición de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mejoró la eliminación de los antibióticos, en comparación con

los resultados de ozonización, aunque, después de 20 min, las diferencias en la evolución de la concentración de los contaminantes son menores, y la cinética de la reacción se vuelve más lenta, alcanzando, en todos los casos, porcentajes de remoción superiores al 88.0 % después de 60 min. La incorporación de luz UV en procesos de ozonización se ha reportado como una alternativa para promover la eliminación de contaminantes orgánicos tras la generación de especies altamente reactivas, como los radicales hidroxilo ( $\text{HO}\cdot$ ). Sin embargo, en las condiciones evaluadas en este estudio, el efecto de la luz fue prácticamente insignificante. Respecto al uso de  $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ , este tratamiento promovió una remoción significativa de los contaminantes durante los primeros 10 min de reacción. Posteriormente, su rendimiento disminuye en comparación con la ozonización. Este tratamiento trae varias ventajas, entre estas la generación de radicales  $\text{HO}\cdot$  adicionales después de la ruptura homolítica de la molécula de peróxido, debido a la presencia de UV, más la descomposición de  $\text{O}_3$  vía fotólisis y por reacción con  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Sin embargo, parece que este último efecto condicionaría la eliminación de AZT, CPX y DOX. Por otro lado, en la evaluación de los tratamientos en aguas residuales hospitalarias, la presencia de iones inorgánicos, turbidez y materia orgánica, impactó negativamente la eliminación de los contaminantes, en contraste con los resultados obtenidos en agua desionizada. Estos resultados confirman que la ozonización y su combinación con  $\text{H}_2\text{O}_2$  y UV representan una estrategia viable para la remoción de antibióticos y el tratamiento de aguas.

*Palabras clave:* antibióticos, ozonización, tecnologías avanzadas de oxidación, tratamiento de aguas.

---

## Impacto de microcontaminantes emergentes en la calidad de cuerpos de Cúcuta: retos para la calidad del agua y la salud pública

*Diana Carolina Silva Sánchez, Ruby Elizabeth Vargas Toloza, Néstor Andrés Urbina Suárez*

Universidad Francisco de Paula Santander  
dianacarolinass@ufps.edu.co, rubyelizabethvt@ufps.edu.co,  
nestorandresus@ufps.edu.co

### Resumen

Este proyecto evaluó la presencia y concentración de microcontaminantes emergentes (MCE) en cuerpos de agua superficial y residuales de la ciudad de Cúcuta, con un enfoque en el impacto en la salud pública y los recursos ecosistémicos. Los MCE abarcan fármacos, pesticidas, productos de cuidado personal, microplásticos, disruptores endocrinos y otros compuestos que, a pesar de presentarse en concentraciones muy bajas (ng/L- $\mu$ g/L), pueden causar efectos tóxicos crónicos, alterar la homeostasis hormonal y afectar la biota acuática. A partir de ahí, se determinaron puntos de muestreo en agua superficial, agua potable y aguas residuales en el municipio de Cúcuta; además, se realizó el análisis detallado mediante técnicas analíticas avanzadas (LC-MS/MS y GC-MS) para la detección y cuantificación de estos compuestos. También se aplicaron diversos modelos de evaluación de riesgo, incluyendo índices PBT, coeficientes de peligrosidad (HQ) y unidades tóxicas (UT), complementados con el cálculo de dosis de ingestión diaria para determinar el potencial riesgo a la salud humana. Luego de ello, se evidenció la presencia de algunos analgésicos como ibuprofeno, naproxeno y acetaminofén; disruptores endocrinos como el bisfenol A, en los diferentes cuerpos de agua; así mismo, en los efluentes residuales se encontró la mayoría de los contaminantes analizados. El punto más crítico fue el punto 4, el río Pamplonita, después de recibir

la descarga de las aguas residuales, donde se encontraron altas concentraciones de carga orgánica contaminantes y presencia de contaminantes emergentes. Se espera que los resultados proporcionen información que permita la formulación de políticas de gestión ambiental y estrategias de mitigación que contribuyan a mejorar la calidad del recurso hídrico, proteger la salud pública y salvaguardar la biodiversidad acuática en la región de Cúcuta y su área metropolitana.

*Palabras clave:* contaminantes emergentes, ciclo del agua, toxicidad, salud pública, carga orgánica contaminante.

---

## Evaluación de empaques biodegradables a partir de fibras naturales con barrera hidrofóbica para aplicaciones alimenticias

<sup>1,2</sup>Juan Francisco Martínez, <sup>1</sup>Camilo Ospina Hoyos,  
<sup>1</sup>Sergio Daniel Jaramillo, <sup>2</sup>Martín Ramírez, <sup>1</sup>Jorge  
Sofrony Esmeral, <sup>1</sup>Néstor Ariel Algecira Enciso

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, <sup>2</sup>Cáscara Tech  
juamartinezro@unal.edu.co, cospinaho@unal.edu.co,  
sejaramillor@unal.edu.co, martin@cascara.tech, jsufronnye@unal.edu.co,  
nalgecirae@unal.edu.co

### Resumen

Este estudio tuvo como objetivo desarrollar empaques biodegradables y reforzados para la industria alimenticia, combinando papel y cartón comerciales con fibras naturales y adhesivos orgánicos. La creciente necesidad de alternativas sostenibles frente a los empaques convencionales, que generan un alto impacto ambiental y consumen grandes cantidades de agua, impulsa la búsqueda de materiales que cumplan con requisitos mecánicos y funcionales adecuados. En este contexto, la combinación de fibras naturales y adhesivos biodegradables se presenta como una solución viable. Para ello, se evaluaron

distintas combinaciones de fibras naturales (fique, cáñamo, plátano y coco) y adhesivos biodegradables (caseína, almidón de yuca y dextrina), analizando su desempeño mediante pruebas fisicoquímicas y mecánicas. Se utilizaron técnicas avanzadas como microscopía electrónica de barrido (SEM), espectroscopía de dispersión de energía (EDS) y difracción de rayos X (XRD) para estudiar la morfología, la composición y la estructura cristalina, permitiendo seleccionar las combinaciones más eficientes. En cuanto a los adhesivos, se determinó que la dextrina al 50 % p/p brindaba la mejor resistencia mecánica sin comprometer la biodegradabilidad del material. Además de ser económica y fácil de obtener, la dextrina forma enlaces estables con la matriz de papel y cartón, mejorando la durabilidad y resistencia del empaque. Para optimizar la funcionalidad del material, se incorporó una capa hidrofóbica a base de cera de abeja clara y aceite de linaza. Esta barrera fue evaluada según normativas ASTM D724 y TAPPI T458, y así mostró una reducción significativa en la absorción de humedad sin afectar la flexibilidad ni la resistencia mecánica. Su aplicación es crucial en la industria alimenticia, donde la humedad puede comprometer la integridad del empaque. Las condiciones de fabricación fueron optimizadas mediante pruebas experimentales de presión, temperatura y tiempo de prensado, maximizando la resistencia mecánica del material. Además, se evaluó su biodegradabilidad conforme a los criterios de la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas, asegurando su bajo impacto ambiental. Los resultados confirmaron que la combinación de fique y dextrina cumple con estos estándares y que se posiciona como una alternativa ecológica viable para la industria del embalaje. En conclusión, los hallazgos de esta investigación respaldan el potencial de estos materiales como una solución sostenible y resistente. La optimización de los parámetros de fabricación mejora el desempeño del empaque y facilita su producción a

gran escala, garantizando una alternativa viable y respetuosa con el medio ambiente.

*Palabras clave:* fibras naturales, biodegradabilidad, adhesivos orgánicos, refuerzo mecánico, hidrofobicidad.

## Rutas eficientes de purificación de polihidroxicanoatos desde cultivos mixtos en lodos de agua residual

<sup>1</sup>Natalia Cuevas, <sup>1</sup>Jeniffer Gracia, <sup>2</sup>Iván Cabeza

<sup>1</sup>Universidad Distrital Francisco José de Caldas, <sup>2</sup>Universidad de La Sabana  
nacuevass@udistrital.edu.co, jpgraciar@udistrital.edu.co, ivan.cabeza@  
unisabana.edu.co

### Resumen

La creciente necesidad de alternativas sostenibles a los plásticos convencionales ha impulsado el desarrollo de biopolímeros como los polihidroxicanoatos (PHA). Su producción a partir de residuos, como lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales y cultivos mixtos, reduce costos y promueve la economía circular. El PHA se obtuvo mediante un proceso fermentativo, en el cual se seleccionaron microorganismos productores y se promovió la acumulación intracelular del biopolímero bajo condiciones controladas. Para minimizar los costos de esterilización, se emplearon cultivos mixtos y lodos residuales como sustrato. Se inició con un análisis sistemático de literatura utilizando Bibliometrix de RStudio, a fin de formular la metodología aplicable en el diseño experimental. Se evaluaron tres reactivos para la lisis celular: SDS al 18% (10 ml/g de biomasa seca), NaOH al 4% (10 ml/g de biomasa seca) y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 20% (10 ml/g de biomasa seca). Posteriormente, se probaron tres concentraciones de ácido acético (10, 15 y 20 ml/g de biomasa lisada) para la extracción del biopolímero. Finalmente, se analizaron dos

metodologías de purificación con metanol: 1) fundición por solvente, utilizando una proporción de 100 ml/g de PHA, y 2) precipitación del PHA en ácido acético mediante la adición de metanol en una cantidad equivalente a la del ácido acético empleado. Los resultados, analizados mediante gravimetría y cromatografía HPLC, permitieron determinar las variables de respuesta: rendimiento, recuperación y pureza. El análisis estadístico descriptivo y el análisis de varianza multifactorial evidenciaron que la lisis celular y la purificación fueron los factores con mayor influencia en la eficiencia del proceso. Se concluyó que la ruta óptima para la extracción y purificación de PHA consistió en la lisis celular con SDS en una proporción de 10 ml/g, seguida de la extracción con ácido acético en una relación de 15 ml/g de biomasa lisada y, finalmente, la purificación con metanol en una proporción de 100 ml/g de PHA. Con este procedimiento se alcanzó un rendimiento del 1.22 %, una recuperación del 54.61 % y una pureza del 19.62 %. En comparación con otros métodos reportados en la literatura, esta metodología optimizó la obtención de PHA y representa una base sólida para futuras investigaciones en la producción sostenible de biopolímeros. El objetivo de este estudio fue desarrollar una ruta para la extracción y purificación de PHA a partir de ácidos grasos volátiles y cultivos mixtos provenientes de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales. Esta estrategia busca reducir los costos asociados a la esterilización y al uso de materiales convencionales, y contribuir al desarrollo de un biopolímero con potencial para sustituir los plásticos sintéticos tradicionales.

*Palabras clave:* polihidroxicanoatos, extracción, purificación, cultivos mixtos.

## Análisis del ciclo de vida de la producción de polihidroxialcanoato a partir de cultivos mixtos seleccionados y lodos de PTAR

<sup>1</sup>Jeniffer Gracia, <sup>1</sup>Andrés Cristancho, <sup>2</sup>Paola Acevedo

<sup>1</sup>Universidad Distrital Francisco José de Caldas, <sup>2</sup>Universidad Ean  
jpgraciar@udistrital.edu.co, afcristanchob@udistrital.edu.co,  
paacevedo@universidadean.edu.co

### Resumen

Ante los impactos negativos de los plásticos convencionales en los ecosistemas, los bioplásticos, como los polihidroxialcanoatos (PHA), surgen como una alternativa sostenible. Su principal ventaja radica en su capacidad de biodegradación, porque mitiga los efectos adversos de los plásticos tradicionales. No obstante, la producción de PHA enfrenta desafíos significativos en términos de rendimiento y métodos de producción, lo que limita su competitividad frente a los plásticos convencionales y su viabilidad como una solución realmente sostenible. Este estudio se enfocó en el análisis de ciclo de vida (ACV) del proceso productivo de PHA, utilizando lodos provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) El Salitre en Bogotá y cultivos mixtos de microorganismos seleccionados mediante la metodología festín-hambruna. En este proceso, los lodos se emplearon para la producción de ácidos grasos volátiles (AGV) durante 7 días. A su vez, el lodo primario de la PTAR se utilizó para seleccionar microorganismos en un reactor de 16 L, al que se aplicaron 10 pulsos de festín-hambruna cada 3 días, incorporando AGV hasta alcanzar una concentración de 500 mg DQO/L. El reactor de selección de microorganismos pasó por una fase de acumulación de 24 h, seguida de una fase de lisis mediante dodecilsulfato sódico (SDS). Para la extracción del biopolímero se empleó ácido acético, y para su purificación, metanol, logrando un rendimiento de producción del 45 %. El análisis de los impactos ambientales del proceso se llevó a

cabo con el *software* SimaPro y la metodología ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08/World (2010) H, evaluando 18 categorías de impacto. Los resultados indicaron que la producción de PHA a partir de lodos de la PTAR y cultivos seleccionados mediante festín-hambruna genera un 12 % menos de contaminación en la mayoría de las categorías, en comparación con otros procesos similares que emplean cloroformo-metanol o ácido acético-metanol con cultivos preseleccionados. Esta diferencia se debe principalmente a la fase de selección de microorganismos, que elimina la necesidad de esterilización, reduce significativamente el consumo energético y mejora la eficiencia del proceso. Este enfoque representa una alternativa más sostenible para la producción de bioplásticos, al reducir el impacto ambiental y optimizar la eficiencia energética. Sin embargo, es fundamental continuar con investigaciones futuras para perfeccionar las distintas etapas del proceso productivo y mejorar su viabilidad a escala industrial.

*Palabras clave:* polihidroxicanoatos, análisis de ciclo de vida, cultivos mixtos microbianos, lodos.

---

## Potencial aplicación de residuos provenientes de la industria minera en la fotooxidación de antibióticos presentes en agua

*José Miguel Fernández Zapata, Henry Nelson*

*Zúñiga, Adriana Marcela Osorio*

Universidad de Antioquia

[jmiguel.fernandez@udea.edu.co](mailto:jmiguel.fernandez@udea.edu.co), [henry.zuniga@udea.edu.co](mailto:henry.zuniga@udea.edu.co), [adriana.osorio@udea.edu.co](mailto:adriana.osorio@udea.edu.co)

### Resumen

La minería en Colombia es una actividad económica clave que aprovecha los recursos minerales para el desarrollo. Con el avance tecnológico y la transición energética, la industria ha crecido, trayendo consigo un aumento en la generación de residuos y desechos sólidos, muchos de los cuales son considerados estériles y sin valor económico, por lo que su fin más probable es acumularse sin una aplicación viable. Por otro lado, el consumo arbitrario de antibióticos en el tratamiento de diferentes patologías en humanos y animales ha promovido su presencia en diferentes cuerpos de agua, debido a su metabolización incompleta y a la mala disposición final de estos fármacos cuando ya no son útiles. Ello ha hecho que se descarguen en diferentes compartimentos ambientales. Diferentes reportes han indicado que algunos materiales de la industria minera pueden emplearse en actividades de remediación ambiental. En este sentido, la investigación buscó evaluar la potencial aplicación de ocho materiales procedentes de industrias mineras localizadas en el Departamento de Antioquia (Colombia) en la remoción de los antibióticos azitromicina, cefalexina y doxiciclina presentes en soluciones acuosas. Para ello, se caracterizaron los residuos determinando propiedades como el área superficial, la porosidad, la composición y el tamaño de partícula, así como su activación empleando luz solar simulada. Los resultados obtenidos indicaron que materiales

provenientes de la industria cerámica, el lavado de roca caliza y dolomita, y originarios de procesos de tratamiento de aguas residuales industriales y actividades de trituración, permiten obtener remociones significativas de los contaminantes. Así, se demuestra que los residuos evaluados son susceptibles a activación mediante luz solar y podrían ser empleados en actividades de tratamiento de aguas contaminadas. De esta manera, se plantea una alternativa para reducir el impacto asociado con la acumulación de residuos sólidos en el medio ambiente y la presencia de compuestos orgánicos en fuentes de agua, contribuyendo a dos frentes importantes considerados en la sostenibilidad ambiental y la conservación de recursos naturales.

*Palabras clave:* antibióticos, residuos de la industria minera, sostenibilidad ambiental, tratamiento de aguas.

---

## **Análisis cinético de metano y propiedades fisicoquímicas de bioles generados por biodigestión anaeróbica de excretas en biodigestores de membrana**

*Jairo Enrique Granados Moreno, Diego Andrés*

*Abril Herrera, Andrés mogollón Reina*

Universidad de Cundinamarca

[jegranados@ucundinamarca.edu.co](mailto:jegranados@ucundinamarca.edu.co), [adiego@ucundinamarca.edu.co](mailto:adiego@ucundinamarca.edu.co),

[amogollon@ucundinamarca.edu.co](mailto:amogollon@ucundinamarca.edu.co)

### **Resumen**

La biodigestión anaeróbica (BDA) es una metodología atractiva, verificada y ampliamente utilizada para la transformación de biomasa proveniente de residuos agrícolas y forestales, desechos sólidos municipales, etc., mediante reacciones bioquímicas microbianas que producen biogás y bioles, ricos en nutrientes como N, P, K, usados en fertilización y enmienda

de suelos agrícolas. La BDA se realiza en cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. La generación de metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) se puede seguir mediante los modelos cinéticos de Gompertz y Monod. *Métodos:* se recolectaron datos en campo provenientes de 4 biodigestores de geomembrana instalados en predios cercanos al municipio de Fusagasugá (Colombia), cuyos afluentes correspondieron a excretas bovinas y porcinas. La cinética productiva de  $\text{CH}_4$  se efectuó mediante un medidor multiparamétrico de gases A-ALT5X-ALKB; así mismo, se recolectaron biosoles durante 6 semanas para su caracterización biofísicoquímica: pH, sólidos totales disueltos, carbono orgánico, conductividad eléctrica, N, P y K, mediante técnicas analíticas instrumentales. *Resultados:* mediante arreglo completamente al azar se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los parámetros cinéticos evaluados y también en indicadores biofísicoquímicos de efluentes. Estos resultados posiblemente se pueden atribuir a tipo y composición del afluente, temperatura del biodigestato, pH y evolución del DQO. *Conclusión:* los biodigestores de membrana abastecidos con excretas porcinas mostraron un mejor comportamiento cinético de gas metano y en calidad biofísicoquímica de biosoles, superando significativamente ( $p < 0.05$ ) a los que desarrollaron BDA con estiércol bovino.

*Palabras clave:* biodigestión anaeróbica, modelo de Gompertz, metano, efluente, afluente, AOAC.

---

## LIFE INDESAL: Pioneering a Circular Approach to Seawater Desalination

*<sup>1</sup>Marina Martínez-Mincheró, <sup>1</sup>Alfredo Ortiz, <sup>1</sup>Lucía Gómez-Coma, <sup>1</sup>Raquel Ibáñez, <sup>2</sup>Olga Ferrer, <sup>1</sup>Inmaculada Ortiz*

<sup>1</sup>Universidad de Cantabria, <sup>2</sup>Acciona Agua S. A. U.

marina.martinez@unican.es, alfredo.ortizsainz@unican.es, lucia.gomezcoma@unican.es, raquel.ibanez@unican.es, olferrer@accionacom.com, ortizi@unican.es

### Resumen

Water scarcity is a major global challenge, especially in densely populated coastal regions with limited freshwater resources. Seawater desalination has emerged as a crucial solution; however, conventional processes can be improved to reduce energy consumption and valorize high-salinity brines. The LIFE INDESAL project (LIFE21-ENV-ES-101074444), co-funded by the European Union under the LIFE Programme, aims to develop and demonstrate an integrated and circular seawater desalination system with a low carbon footprint. To this end, the project integrates a membrane-based process to transform desalination brines into sodium hydroxide and hydrochloric acid for self-consumption. LIFE INDESAL is led by a consortium comprising ACCIONA AGUA (ES), the University of Cantabria (ES), APRIA Systems (ES), REDstack BV (NL), and REVOLVE (BE). The project is based on three main technological pillars: (1) Low-Pressure Multi-Stage Reverse Osmosis (LMS RO) for energy-efficient desalination, (2) Reverse Electrodialysis (RED) to generate electricity from the salinity gradient, and (3) a membrane process with Nanofiltration and Electrodialysis with Bipolar Membranes (EDBM) to convert NaCl into acidic and basic solutions. The integrated system will be demonstrated in an 8 m<sup>3</sup>/h pilot plant at the San Pedro del Pinatar-II desalination plant in Murcia (Spain), property of Mancomunidad de los Canales del Taibilla (MCT), targeting Technology Readiness Level (TRL) 7. By integrating

these advanced processes, LIFE INDESAL aims to reduce energy consumption, transform brine into chemicals, thus reducing dependence on external reagents and supporting a circular water economy. Expected outcomes include a 0.2 kWh/m<sup>3</sup>-permeate decrease in energy consumption, and full self-sufficiency in NaOH and HCl supply. Within the EDBM framework, the University of Cantabria has successfully worked with real brine after NF treatment for extended periods without scaling or precipitate formation, achieving HCl and NaOH concentrations of up to 2.5 M. This approach ensures self-sufficient chemical production. During the pilot phase, the EDBM process will produce 86 g/h of NaOH and 3 g/h of HCl, enhancing desalination sustainability.

*Palabras clave:* electrodyalisis, bipolar membranes, desalination, circular economy, valorization.

---

## Development and Evaluation of Starch-based Compositated Active Sheets for the Preservation and Packaging of Blueberry (*Vaccinium corymbosum*) Fresh Fruits

*Sofía Castellanos González, Heidi Tatiana Jiménez*

*Ariza, Diego Alberto Castellanos Espinosa*

Universidad Nacional de Colombia

socastellanosgo@unal.edu.co, hejimenez@unal.edu.co, dacastellanos@unal.edu.co

### Resumen

Blueberries are a fruit of high interest because of their nutritional and health benefits. However, they are susceptible to fungal spoilage postharvest handling and storage. In this work, a composite active sheet made of biodegradable polymers with preservative properties was developed and evaluated for fresh blueberry fruit packaging. Different formulations based on

cassava starch, microcrystalline cellulose, and  $\beta$ -cyclodextrin, besides additives and plasticizers, were tested to obtain flat and homogeneous sheets through extrusion using a temperature range of 120–135 °C. The sheets were characterized by measuring color, tensile strength, mid-infrared spectrum (FTIR), and moisture adsorption. Subsequently, the adsorption capacity of two volatile antifungal substances, menthol, and d-limonene, was determined on the sheets. It was observed that formulation with 10 % of microcellulose and 10% of  $\beta$ -cyclodextrin had the highest adsorbed amounts of menthol and d-limonene of 0.084 and 0.082 g substance/g sheet, respectively. Finally, packaging tests with the active sheets were performed with fresh fruits at 4 and 20 °C. For this purpose, blueberries were packaged in two types of polyethylene terephthalate (PET) trays (macro and microperforated) and included different treatments of active sheets. During the storage time, several physicochemical properties of the fruits such as total soluble solids (TSS), total titratable acidity (TTA), pH, firmness and color, and microbiological and sensory acceptability were monitored. For the microperforated trays with sheet loaded with 0.07 g menthol/ g sheet, 23 and 47 days of preservation were reached at 20 and 4 °C respectively without microbial decay deterioration. These preservation times were significantly longer than those reached by the control (15 and 33 days at 20 and 4 °C) indicating that this active packaging configuration can be suitable for improving the storage and distribution of this product.

*Palabras clave:* active packaging, blueberries, thermoplastic starch, biodegradable, antimicrobial agents.

---

## Development of Compounded PBAT/PLA Semi-Rigid Trays as a Sustainable Alternative for Food Packaging

*Sofía Castellanos González, Heidi Tatiana Jiménez Ariza, Yurany Rocío Mahecha Rubiano, Nelsy Johanna Garavito Fejen, Diego Alberto Castellanos Espinosa*

Universidad Nacional de Colombia

socastellanosgo@unal.edu.co, hejimeneza@unal.edu.co, ymahechar@unal.edu.co, ngaravitoj@unal.edu.co, dacastellanose@unal.edu.co

### Resumen

Nowadays, the packaging sector must continue advancing toward developing more sustainable systems with a lower environmental impact. This is especially relevant in the food industry, where huge amounts of single-use waste plastics are generated. This study evaluated the production and characterization of compounded semi-rigid trays made from biodegradable/compostable materials. Different formulations of polybutylene adipate co-terephthalate (PBAT) and polylactic acid (PLA) with polyethylene glycol (PEG) and glycerol as plasticizers and citric acid as a compatibilizer/crosslinker were evaluated. The materials were subjected to pellet extrusion (170/180/190/195 °C and 60 rpm) and then to flat sheet extrusion (at 185/190/195/205 °C and 60 rpm) and calendering (at 5 rpm). The obtained sheets (0.271 mm thick) were molded into 12.5 × 11.0 × 3.5 cm trays in a negative pressure thermoforming machine (at 315 °C and vacuum pressure). The best formulation was 78.4% PBAT, and 19.6% PLA, besides additives. For these packages, the tensile strength (29.21 MPa), elongation at break (3.46%), WVTR (10.31 gm-2d-1), and water absorption (0.380 gg-1) were determined at 20 °C and 60% RH, in addition to luminous transmittance at 600 nm (0.42%). The characteristics measured in the tray show that this PBAT/PLA semi-rigid package can be a sustainable alternative for replacing petrochemical materials

such as polyethylene terephthalate (PET) and polypropylene (PP) for the marketing of various foods such as fresh produce, meats, fruits, and vegetables.

*Palabras clave:* flat sheet extrusion, thermoforming, bioplastics, plastic compounding, mechanical strength.

## Capacidad adsorbente de la biomasa de la alga roja (*Gracilaria* sp.): análisis cinético, de equilibrio y termodinámico

<sup>1</sup>Ildefonso Baldiris Navarro, <sup>2</sup>Martha Torres  
Viviescas, <sup>1</sup>Lesly Patricia Tejeda Benítez

<sup>1</sup>Universidad de Cartagena, <sup>2</sup>Universidad del Sinú-Elías Bechara Zainúm  
ibaldirisn@unicartagena.edu.co, biologiamarina@unisinucartagena.edu.co,  
tejedab@unicartagena.edu.co

### Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar la capacidad de adsorción de azul de metileno (MB) con la macroalga *Gracilaria* sp. Las características de la biomasa de las algas se determinaron mediante análisis FTIR y SEM, antes y después del proceso de biosorción. Además, se encontraron las mejores condiciones para la remoción del colorante utilizando la metodología de superficie de respuesta: pH = 6.5, dosis de biomasa = 1.3 g y concentración inicial de contaminante  $C_0 = 47.78$  mg/L. Los datos de equilibrio se ajustaron a los modelos de isoterma de Langmuir, Freundlich y Dubinin-Radushkevich. Se observó que la adsorción es favorable en multicapa; los datos se ajustaron al modelo de Freundlich y la adsorción máxima ( $q_{max}$ ) fue de 68.03 mg/g. Además, el modelo de Dubinin-Radushkevich arrojó un valor energético de  $E = 6.71$  kJ/mol, lo que indica un proceso de fisisorción. Asimismo, el modelo cinético de pseudosegundo orden proporcionó el mejor ajuste para *Gracilaria* sp. Con base en el análisis termodinámico, el

proceso se clasificó como endotérmico ( $\Delta H > 0$ ), con desorden molecular en la interfaz sólida. También se establecieron la viabilidad y estabilidad del proceso. Estos resultados resaltan el potencial de *Gracilaria* sp. para la eliminación de MB en soluciones acuosas.

*Palabras clave:* microalgas, adsorción, azul de metileno.

## Evaluación del uso de ozono en la remediación de aguas residuales hospitalarias

*María Paula Rozo Charris, Jacobo Vásquez Tamayo, Henry Nelson Zúñiga Benítez, Gustavo Antonio Peñuela Mesa*

Universidad de Antioquia

maria.rozo@udea.edu.co, jacobov.vasquez@udea.edu.co, henry.zuniga@udea.edu.co, gustavo.penuela@udea.edu.co

### Resumen

La creciente presencia de antibióticos, incluyendo la amoxicilina (AMX), la ciprofloxacina (CPX) y la trimetoprima (TRM), en aguas residuales hospitalarias representa un desafío ambiental y de salud pública significativo, pues está asociada al potencial desarrollo de resistencia antimicrobiana y la contaminación de fuentes hídricas. Los tratamientos convencionales para el tratamiento de aguas no eliminan estos compuestos de manera efectiva, lo que permite su liberación al medio ambiente y su posterior reincorporación en la cadena de consumo humano y animal. Esta investigación buscó evaluar la eficacia de procesos avanzados de oxidación basados en ozono en la remoción simultánea de AMX, CPX y TRM en agua residual hospitalaria, considerando los efectos de parámetros operacionales como el pH de la solución, la dosis inicial de ozono y la concentración de demás agentes oxidantes. El desarrollo metodológico incluyó la realización

de experimentos preliminares que permitieron establecer los niveles de los parámetros de interés que conducían a una remoción significativa de los contaminantes, la evaluación de la cinética de reacción y la incorporación de peróxido de hidrógeno y luz ultravioleta. Adicionalmente, teniendo en cuenta la complejidad de tratar aguas residuales debido a la presencia de diferentes tipos de sustancias de naturaleza orgánica e inorgánica, junto con contaminantes de tipo biológico, se caracterizó el agua en estudio en aras de establecer parámetros fisicoquímicos como el contenido de materia orgánica, aniones, turbiedad y color. Los resultados obtenidos permitieron establecer que cada molécula de contaminante se ve influenciada por factores como el pH, lo que puede limitar o favorecer su remoción. Así mismo, al realizar los ensayos experimentales en una matriz compleja, se demostró que la eficiencia de la ozonización se puede ver comprometida por efectos competitivos entre los contaminantes, así como por fenómenos asociados a la transferencia de masa del gas hacia el seno de la solución. No obstante, este tipo de investigaciones permiten aproximarse a condiciones experimentales más cercanas a las que pueden presentarse en los sistemas de tratamiento de aguas, lo cual valida sus resultados y posible aplicación a escala piloto o real.

*Palabras clave:* agua residual hospitalaria, antibióticos, ozonización, tratamiento de aguas.

---

## Desafíos en la gestión de los residuos de cacao: explorando el potencial del mucílago como recurso sostenible en Colombia

*María Paula Garay Jácome, Juan Manuel Navarro Rodríguez, Jessica Paola Nieto Muñoz, Liliana del Pilar Castro Molano, Humberto Escalante Hernández*

Universidad Industrial de Santander  
maria.garay@correo.uis.edu.co, navarro23juanma@hotmail.es,  
jessicanieto1205@gmail.com, licasmol@uis.edu.co, escala@uis.edu.co

### Resumen

El mucílago es un residuo de la agroindustria cacaotera, que, por sus características fisicoquímicas, tiene un alto potencial energético para producir biometano mediante la digestión anaeróbica (DA). Sin embargo, existen limitaciones como (1) alta concentración de sólidos volátiles, (2) bajo pH y (3) alta relación C/N. El objetivo de esta investigación fue evaluar la capacidad de utilización del mucílago de cacao para la producción de metano mediante ensayos de biodegradabilidad anaerobia, utilizando como tratamientos la dilución y la co-digestión. Para el tratamiento de dilución se realizaron experimentos a temperatura de 27 °C y 37 °C y se establecieron diluciones de mucílago de 100 %, 75 %, 50 % y 25 %- . La estabilidad del proceso se evaluó mediante parámetros como ácidos grasos volátiles (AGV), capacidad buffer, pH y %CH<sub>4</sub>. El máximo rendimiento fue de 92.6±11.004 NL CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> SV a 25 °C y una dilución del 50 %, siendo un 76 % menor que el PBM teórico del mucílago (381 NL CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> SV), lo que sugiere el uso de un co-sustrato o tratamiento que permita compensar la inestabilidad del sistema. Por lo tanto, el tratamiento de codigestión con estiércol bovino, es una alternativa viable que permite el equilibrio entre nutrientes y disminuir la concentración de compuestos tóxicos. Para ello se realizó un diseño experimental 23 con puntos axiales y punto central que comprende las temperaturas 21, 25, 31, 37 y 41 °C, RIS

de 1.3, 2, 4, 4.7 y fM de 0.2, 0.5 y 0.8. Se obtuvo un máximo rendimiento de  $313 \pm 20.64$  NL CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> SV a 37 °C, RIS de 4 y fM de 0.8 y en su mayoría los experimentos fueron estables al evaluar los parámetros de AGV y capacidad buffer. Por lo tanto, los resultados obtenidos en los diferentes ensayos permiten visualizar que la aplicación de esta metodología sirve como valorización del mucílago de cacao que causa un impacto negativo en el medio ambiente.

*Palabras clave:* mucílago de cacao, residuos de cacao, digestión anaeróbica, gestión de residuos.

## Tecnologías de recuperación de nutrientes en aguas residuales periurbanas

*Laura Valentina Quintero, Marianny-Yajaira Combariza,  
Humberto Escalante Hernández, Liliana del Pilar  
Castro Molano, Débora Alcida Nabarlatz*

Universidad Industrial de Santander

[laura.quintero5@correo.uis.edu.co](mailto:laura.quintero5@correo.uis.edu.co), [marianny@uis.edu.co](mailto:marianny@uis.edu.co),  
[escala@uis.edu.co](mailto:escala@uis.edu.co), [licasmol@uis.edu.co](mailto:licasmol@uis.edu.co), [dnabarla@uis.edu.co](mailto:dnabarla@uis.edu.co)

### Resumen

En las zonas periurbanas del Área Metropolitana de Bucaramanga, la ausencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas representa un problema ambiental crítico. Actualmente, estas aguas son vertidas a los cuerpos hídricos, lo que genera una contaminación significativa en la cuenca del río Alto Lebrija y afecta tanto los ecosistemas acuáticos como la salud pública. Debido a las características particulares de estas zonas, su dispersión geográfica y las limitaciones económicas, se hace poco viable la implementación de sistemas de tratamiento centralizados convencionales. En

específico, para el manejo de contaminantes como nitrógeno y fósforo, las tecnologías de recuperación de nutrientes emergen como una solución promisoría, pues permiten no solo mitigar el impacto ambiental, sino transformar los nutrientes presentes en las aguas residuales en recursos valiosos para actividades agrícolas o de reforestación. En este estudio se realizó un análisis multicriterio de toma de decisión con incertidumbre para seleccionar una tecnología de recuperación de nutrientes como la más promisoría a aplicarse, la cual fue evaluada experimentalmente a escala de laboratorio. El análisis multicriterio empleó lógica difusa para tener en cuenta la incertidumbre, donde se revisaron 157 artículos y 20 tecnologías de recuperación de nutrientes a distintas escalas de desarrollo y funcionamiento. La ponderación de criterios incluyó aspectos técnicos, medioambientales y económicos, lo que condujo a una evaluación final realizada por un panel de expertos internacionales, quienes clasificaron las tecnologías en función de su idoneidad para la aplicación, y concluyeron que la tecnología ideal fue la adsorción de nutrientes (Li: 0.1999). Para validar este resultado, se evaluó la adsorción de nutrientes a escala de laboratorio utilizando biocarbón y carbón activado como adsorbente y aguas residuales sintéticas formuladas para replicar las concentraciones de nutrientes reportadas en la zona de estudio ( $90.483 \pm 1.878$  mg  $\text{NH}_4^+$ /L y  $11.624 \pm 0.200$  mg  $\text{PO}_4\text{-P/L}$ ). Los resultados mostraron que la capacidad de adsorción de amonio a un pH de 8 y una dosis de biocarbón de 5 g/L alcanzó  $3.40 \pm 0.20$  mg  $\text{NH}_4^+$ /g, permitiendo recuperar el  $33.11 \pm 1.48$  %; mientras que al aumentar la dosis de biocarbón a 20 g/L se alcanzó una eficiencia de recuperación del  $56.42 \pm 2.21$  %. Para el caso del fósforo, el carbón activado mostró una mejor capacidad de adsorción en condiciones ácidas (pH de 2), la cual fue de  $2.07 \pm 0.03$  mg  $\text{PO}_4\text{-P/g}$ , representando una recuperación del  $25.55 \pm 0.29$  %. El análisis de los resultados demuestra que la adsorción de

nutrientes ofrece resultados promisorios, con ciertas ventajas, dado que puede usarse en concentraciones de nutrientes bajas, es selectiva y relativamente de fácil implementación.

*Palabras clave:* recuperación de nutrientes, aguas residuales domésticas, análisis multicriterio, adsorción, nitrógeno, fósforo.

## Obtención de biocarbón a partir de residuos de cannabis con aplicaciones energéticas y adsorbentes

*Darío Hoyos Caro, Antonio Contreras Rocha, Jhonatan Venner-González, Lesly Patricia Tejada-Benítez*

*Universidad de Cartagena*

*dhoyosc@unicartagena.edu.co, acontrerasr@unicartagena.edu.co,  
jvennerg@unicartagena.edu.co, ltejedab@unicartagena.edu.co*

### Resumen

La industria del cannabis ha florecido en Colombia, debido a las regulaciones que permiten su cultivo, procesamiento y comercialización para fines médicos. Sin embargo, esta industria solo aprovecha los cogollos o flores de la planta, generando como residuos el tallo, las ramas y las raíces, los cuales conforman entre el 80 % y el 90 % de la planta. El objetivo de esta investigación fue obtener biocarbón a partir de los residuos de cannabis y evaluar su potencial uso como combustible y como adsorbente. Las ramas, tallos y raíces fueron lavadas, secadas, sometidas a reducción de tamaño y tamizadas. Posteriormente, fueron sometidas a pirólisis en un horno con atmósfera controlada a diferentes temperaturas y tiempos de contacto. El biocarbón obtenido fue analizado para conocer su potencial calorífico y sus propiedades de superficie. Los resultados muestran que la temperatura de pirólisis tiene un efecto significativo en la cantidad del biocarbón obtenido. La conversión del producto es mayor a temperaturas más

bajas, con una máxima conversión del 59.68 % a 400 °C. La densidad aparente del biocarbón fue de  $0.162 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ , indicando que este podría flotar en cuerpos de agua. Por otro lado, el análisis FTIR reveló la presencia de picos asociados a la adsorción de alcoholes, fenoles, ácidos orgánicos, aminas, ésteres, éteres y compuestos con estructuras aromáticas y grupos carbonilo. Estos resultados sugieren que el biocarbón producido a 400 °C tiene un potencial significativo para la adsorción de diversos contaminantes en aguas residuales. El potencial energético del biocarbón mostró una oportunidad positiva, debido a su alta capacidad calorífica, resaltando con un alto poder calorífico entre diferentes biocarbones de distintas biomásas y logrando alcanzar un 70 % aproximadamente del poder calorífico de un carbón mineral.

*Palabras clave:* cannabis, biocarbón, pirólisis, adsorbente.

## Propuesta agroecológica para la recuperación de suelos contaminados con petróleo crudo empleando la asociación de *Opuntia* spp.-*Azospirillum* spp.

*Brenda Severiano Hernández, Refugio Armando*

*Tapia Hernández, Teresita Jiménez Salgado, José*

*Antonio Rivera Tapia, Ómar Romero Arenas*

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
brenda.severianohernandez.icuap@viep.com,  
armando.tapia@correo.buap.mx, teresita.jimenez@correo.buap.mx,  
biol.ora@hotmail.com,

### Resumen

Las actividades antropogénicas han sido las principales causas de problemas ambientales en México y degradación de los ecosistemas. La contaminación producida por la industria petrolera afecta principalmente los suelos agrícolas y ello ha

dado como resultado condiciones hidrofóbicas extremas y suelos infértiles, que llevan a una reducción de la germinación, a baja traslocación de nutrientes, a perturbación de actividades metabólicas, entre otros, con la consecuencia de pérdidas económicas y riesgo de seguridad alimentaria. Hoy en día, el uso la biorremediación es una de las mejores alternativas agroecológicas para remediar sitios contaminados por compuestos xenobióticos, puesto que busca la compatibilidad con la filosofía del desarrollo sustentable, contando con tres ejes principales: la sustentabilidad ecológica, económica y social. La rizorremediación se enfoca principalmente en estimular la población de microorganismos a través de los efectos rizosféricos de la planta. Estas asociaciones se llegan a desarrollar con bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV), que son capaces de ejercer un efecto benéfico a la planta. El uso de especies tanto de plantas como de microorganismos tolerantes a estrés abióticos es importante, ya que pueden ser un factor clave para tener un mayor porcentaje de eficiencia en su crecimiento, desarrollo y la remoción de contaminantes. Estudios realizados mencionan la eficiencia de *Opuntia* spp. (nopal), para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos; sin embargo, estos no demuestran los beneficios extras que se obtienen al inocular con BPCV. Como objetivo principal se evaluó la recuperación de suelos contaminados con petróleo crudo a una concentración de 12.146 ppm, empleando la asociación de *Opuntia* spp. con las BPCV del género *Azospirillum* por un periodo de 90 días. Así, se redujeron un 77.06% los hidrocarburos totales del petróleo, con valores menores a los límites máximos permisibles establecidos en la normativa mexicana para suelos agrícolas. Además, se obtuvieron mejorías en las propiedades fisicoquímicas del suelo como pH, nitrógeno y materia orgánica, así como un aumento significativo en biomasa y desarrollo de brotes en las plantas inoculadas con *Azospirillum*, en comparación con los tratamientos sin inocular. El rol que desempeñan las BPCV en procesos de biorremediación es importante ya que, combinadas con

plantas resilientes a cambios climáticos y estrés abióticos, junto con buenas prácticas de manejo agroecológico, incrementan los rendimientos de los cultivos, desarrollo de biomasa y un mayor porcentaje de degradación de contaminantes como el petróleo crudo.

*Palabras clave:* biorremediación, petróleo, agroecología, opuntia, BPCV.

## Implementación de una planta de compost por bioaumentación en la Universidad de San Buenaventura de Cartagena

*Jordan David Gómez Barrios, Laura Sofía Ramírez  
Wilches, Keydis Martínez Villadiego*

Universidad de San Buenaventura (sede Cartagena)  
jdgomez@miusbctg.edu.co, laura.ramirez@usbctg.edu.co,  
keydis.martinez@usbctg.edu.co

### Resumen

El proceso de compostar es un método biotecnológico simple, en el cual se degradan residuos vegetales para transformarlos en abonos o fertilizantes. Este proceso tiende a demorar meses y la implementación de una planta de compost basada en bioaumentación es una alternativa para acortar tiempo y garantizar un compost de calidad. En este proyecto se construyó una compostera tipo dique de 3 etapas (mesófila, termófila y enfriamiento), basada en planos de diseño y volumen de operación del recinto de 6.6 m<sup>3</sup>, para compostar residuos de la universidad conformados por hojas secas (22 %) y residuos orgánicos de la cafetería (78 %). Los parámetros y monitoreos de aireación/humedad, pH y temperatura se realizaron en un lapso de 6 semanas con toma de muestra cada 3 días, realizando volteo al mismo tiempo. Para la ejecución del proceso de degradación por bioaumentación, se selecciona un consorcio de tres bacterias (*Pseudomonas luteola*, *Paenibacillus alvei*

y *Pseudomona aeruginosa*), con capacidad de agilizar el proceso de compostaje y reducir el tiempo de maduración a 3 meses. Finalmente, se evaluó su capacidad como nutriente, al reducir el tiempo de crecimiento de 15 a 9 días de la planta de ají dulce (*Capsicum frutescens* L.), comparado con un cultivo sin compost y analizando su relación C:N, que estuvo en 4.16:1. Así, cumplió con los parámetros necesarios para ser catalogado abono de calidad y se demostró que se pudo diseñar una planta de compost por bioaumentación capaz de cumplir con los parámetros necesarios para generar abono y que este sea catalogado como abono de calidad.

*Palabras clave:* compost, compostera, bioaumentación, microorganismos.

## Simulación, integración y evaluación técnica, económica, ambiental y de sostenibilidad de la extracción de astaxantina mediante hidrólisis enzimática

*Gabriela Bolaño Castro, Eduardo Sánchez  
Tuirán, Gezira de Ávila Montiel*

*Universidad de Cartagena*

gbolanoc@unicartagena.edu.co, esanchezt2@unicartagena.edu.co,  
gdeavilam@unicartagena.edu.co

### Resumen

En la actualidad, la producción de astaxantina a partir de los subproductos de la industria acuícola ha cobrado gran relevancia debido a su alto valor comercial y su contribución a la economía circular. Con la implementación de procesos sostenibles, se puede acceder a la extracción de varios compuestos con valor agregado, como quitina, quitosano, proteínas, minerales y el colorante astaxantina. Esto mejora el sector de la bioeconomía en la producción del colorante empleando métodos verdes. La integración de procesos en

la producción de astaxantina y otros productos, así como el reciclaje del agua residual, puede crear ahorros específicos en los precios del producto y aumentar la eficiencia del proceso de extracción. Un estudio reciente analizó una biorrefinería integrada de materiales usados en los procesos de reciclaje y reutilización en la extracción de compuestos con valor agregado de los exoesqueletos de camarón, empleando el *software* Aspen Plus® para la simulación y análisis ambiental y el algoritmo de reducción de desechos para evaluar el desempeño técnico y ambiental. El objetivo de esta investigación fue la determinación de los impactos económicos, ambientales y de sostenibilidad del proceso de extracción de astaxantina a partir de exoesqueletos de camarón utilizando como solvente de extracción etanol:agua. En primer lugar, se simuló el proceso de extracción empleando el *software* Aspen Plus v. 12.1, en el cual se ingresaron datos experimentales obtenidos en el laboratorio. Con los datos recolectados se determinaron las condiciones óptimas de operación (temperatura de extracción y relación solvente) que se utilizaron en la simulación. La simulación del proceso permitió generar los datos necesarios (balance de masa, de energía, estimación de las propiedades), para desarrollar la etapa de análisis del proceso; además, el empleo de metodologías de integración logró una reducción del 8 % en los servicios de calefacción y un 80 % en servicios de refrigeración. En cuanto al porcentaje de reducción en el consumo de agua fresca, fue de 65 %. Para el análisis económico se usaron indicadores como el retorno sobre la inversión, periodo de recuperación, valor presente neto y tasa interna de retorno. El análisis ambiental se realizó mediante el algoritmo de reducción de residuos y para la evaluación de sostenibilidad se empleó la métrica de rentabilidad ponderada sostenible. En términos económicos, los resultados indicaron que el proceso es rentable, con un retorno sobre la inversión del 97 % y un periodo de recuperación de 0.88 años. Se cuantificó el impacto ambiental del proceso a través de la emisión de PEI emitido al medio a través de corrientes residuales, observando

valores negativos de generación en algunas categorías. Esta investigación destaca el potencial de la extracción de astaxantina como una alternativa para valorizar los subproductos de la industria acuícola y la simulación desarrollada en esta investigación puede aportar información valiosa, para el escalamiento del proceso de extracción de astaxantina de los exoesqueletos de camarón.

*Palabras clave:* astaxantina, exoesqueleto, integración energética, integración másica, simulación.

## **Análisis económico, ambiental y de sostenibilidad del proceso integrado de extracción de astaxantina a partir de exoesqueletos de camarón**

*Jesús David Samur Gómez, Eduardo Sánchez  
Tuirán, Gezira de Ávila Montiel*

Universidad de Cartagena  
jsamurg@unicartagena.edu.co, esanchezt2@unicartagena.edu.co,  
gdeavilam@unicartagena.edu.co

### **Resumen**

La astaxantina es un colorante extraído de fuentes naturales como cultivo de microalgas y subproductos de crustáceos. Presenta un alto valor comercial con aplicaciones en medicina y en la industria farmacéutica y alimenticia. Los desechos de camarones son una fuente potencial de productos valiosos como quitina, pigmentos y proteína, y el procesamiento de estos mariscos produce grandes cantidades de desechos sólidos como cabezas y caparazones (aproximadamente del 40 % al 50 % de los camarones) y genera un problema importante que repercute en el medio ambiente por la disposición de los residuos. Desarrollar un proceso eficiente y sostenible para obtener astaxantina no solo permite avanzar en la conservación

ambiental, sino también en fortalecer la economía circular y promover prácticas industriales sustentables. Por lo tanto, evaluar los aspectos técnicos, económicos y de sostenibilidad mediante herramientas como la simulación en Aspen Plus y la integración energética garantiza un enfoque integral que impulsa innovaciones tecnológicas hacia un desarrollo sostenible. Estudios recientes han desarrollado un enfoque de biorrefinería para el procesamiento de camarones mediante simulación de procesos y evaluación de la sostenibilidad. El proyecto mostró resultados positivos desde los análisis técnico, económico y ambiental, y con respecto a la capacidad de diseño del proceso. Otra investigación desarrolló un diseño conceptual para una biorrefinería de quitina a partir de exoesqueletos de camarón, con el fin de realizar un análisis económico preliminar, determinar la viabilidad en los procesos de extracción de astaxantina y recuperar quitina y quitosano utilizando como base los precios de venta de cada producto, los reactivos y los costos asociados al sistema de tratamiento de efluentes generados en el proceso. El objetivo de esta investigación fue simular la extracción de astaxantina a partir de los exoesqueletos de camarón con hidrólisis enzimática, aplicando metodologías de integración energética, mediante el uso de *software* Aspen Plus, con el fin de mejorar la conservación energética y minimizar las corrientes residuales, evaluando los aspectos técnicos, económicos, ambientales y de sostenibilidad del proceso. La simulación permitió dimensionar adecuadamente cada etapa del proceso, identificando los parámetros operativos óptimos para las variables involucradas: relación enzima-agua, enzima-exoesqueletos y exoesqueleto-etanol; temperaturas y tiempos de extracción. Se empleó el modelo termodinámico *Non-Random Two Liquid*, dada la naturaleza polar, no polar y electrolítica de las sustancias involucradas en el proceso que estimó adecuadamente las propiedades de transporte y termodinámicas de los componentes. Ello facilitó el cálculo preciso de los balances de masa y energía. Además, se espera que la aplicación de esquemas de integración

energética permita determinar, mediante análisis Pinch, los requerimientos energéticos, los servicios auxiliares del proceso y el porcentaje de reducción en los servicios de calefacción y enfriamiento. Las evaluaciones técnico-económica, ambiental y de sostenibilidad permitirán determinar la viabilidad, sostenibilidad e identificar el mejor rendimiento del proceso.

*Palabras clave:* astaxantina, exoesqueletos, hidrólisis enzimática, integración energética, simulación.

---

## Análisis de ciclo de vida de la agrocadena del café: estudio de caso de Green Coffee Company (GCC)

<sup>1,2</sup>Juliana Velandia Téllez, <sup>1</sup>Néstor Eduardo Sánchez Ramírez, <sup>1</sup>María Alejandra Cuevas Rivera, <sup>1</sup>Santiago Yara Tovar, <sup>1</sup>Juan Andrés Cano Lozano

<sup>1</sup>Universidad de La Sabana, <sup>2</sup>Green Coffee Company  
julianavete@unisabana.edu.co, nestor.sanchez1@unisabana.edu.co,  
mariacuri@unisabana.edu.co, santiagoyato@unisabana.edu.co,  
juan.c@gcc-coffee.com

### Resumen

La industria del café, debido a su alta demanda global, se ha posicionado como el segundo *commodity* de mayor comercialización. En Colombia, Green Coffee Company se ha destacado como la mayor productora de café verde, a pesar de su reciente incursión en el sector, con solo seis años de operación y una producción anual aproximada de 12 000 toneladas. Este crecimiento necesita un análisis de ciclo de vida (ACV) de su operación, que abarca desde el cultivo hasta el tratamiento de las cerezas para la exportación. El proyecto consistió en realizar un ACV de la operación de la empresa, considerando todas las etapas desarrolladas en el territorio nacional y tomando como unidad funcional la producción de un saco

de 60 kilogramos de café. Con el análisis se identificó que la empresa ha logrado una reducción significativa de energía y agua, en comparación con las prácticas convencionales de la industria cafetera. Este ahorro se debe a la implementación de tecnologías más eficientes en sus procesos productivos, lo que no solo contribuye a la sostenibilidad, sino que también optimiza los costos operacionales. Además, se evidenció la posibilidad de gestionar los subproductos del beneficiado húmedo en la compañía (orientada a maximizar su valor agregado) y de reusarlos dentro el ciclo productivo o la producción de un producto de valor, como el etanol; no obstante, se consideró el manejo de residuos y emisiones verificando el compromiso con la economía circular. De esta manera, la empresa no solo se posiciona como líder en producción de café verde, sino como un referente en prácticas sostenibles en la industria cafetera colombiana.

*Palabras clave:* análisis de ciclo de vida, caficultura, prácticas sostenibles, producción de café, economía circular.

---

## Estudio de la fermentación de materias primas secundarias para la obtención de alcohol aplicando economía circular

*Diego Roberto Flores Oña, Magdalena de  
Los Ángeles Díaz Altamirano*

Universidad Central del Ecuador  
drflores@uce.edu.ec, madiaz@uce.edu.ec

### Resumen

El proyecto busca evaluar la capacidad de obtener alcohol a partir del zumo de fruta, usando levadura comercial y levadura residual cosechada de una planta piloto de elaboración de cerveza, aplicando de esta manera un modelo de

economía circular. Las frutas se recolectaron como un residuo aprovechable de la Empresa Pública Metropolitana Mercado Mayorista, se les extrajo el zumo y se cuantificó el porcentaje de fruta aprovechable. A partir de ahí se elaboró un diseño experimental, tomando en consideración dos escenarios de fermentación, uno enfocado en la levadura cosechada y otro enfocado en la levadura fresca, para cada tipo de fruta con dos réplicas correspondientes. Una vez fermentado el zumo, se destiló y se almacenó el alcohol recolectado para su análisis. Los resultados muestran que el alcohol producido con levadura residual oscila entre 7 y 15 °Gay-Lussac; mientras que con levadura fresca se obtienen entre 8 y 12 °Gay-Lussac. Ambos métodos presentan un comportamiento similar en todos los escenarios, lo que respalda la viabilidad de destilar alcohol partiendo de materias primas secundarias con el uso levadura residual. Se concluye que la obtención de alcohol a partir de materia prima secundaria, mediante fermentación con el uso de levadura residual, es factible y puede ser considerado un método alternativo de valorización de residuos. Además de cubrir requisitos económicos esenciales, se garantiza la viabilidad financiera del proyecto, con un enfoque en la economía circular.

*Palabras clave:* materias primas secundarias, etanol, economía circular.

---

## Técnica Shibori con tinte azul índigo como alternativa sostenible a tintes sintéticos contaminantes: un enfoque de química verde

*José Ángel Rodríguez Corrales, Herberth Bolaños  
Rivera, María Paz Ramírez Arguedas, Sabirah Lianeth  
Galeano Ilama, Carlos Arturo Vargas Brenes*

Universidad Nacional de Costa Rica  
jose.rodriguez.corrales@una.ac.cr, hbolanos@ice.co.cr,  
m.pazramirez2218@gmail.com, sabirah.galeano.ilama@est.una.ac.cr, carlos.  
vargas.brenes@est.una.ac.cr

### Resumen

A pesar de que la sociedad comúnmente relaciona la contaminación con industrias petroleras, de transporte y agropecuarias, las prendas de uso diario generan un importante impacto ambiental. La industria textil usa una gran cantidad de sustancias químicas (*e. g.*, tintes, fijadores de color o fibras), incluyendo sustancias difíciles de biodegradar. Ante esta problemática, es necesario repensar los procesos productivos considerando su repercusión en los ciclos biogeoquímicos antes, durante y después de la vida útil de los textiles. El Capítulo Estudiantil de la American Chemical Society (ACS) en la Universidad Nacional en Costa Rica impartió un taller de química verde, donde se estudió la técnica de teñido japonesa Shibori, utilizando el pigmento azul índigo. Inicialmente, se detallaron las propiedades químicas del colorante, los procesos de reducción-oxidación asociados al teñido, la estructura química de las fibras en los textiles y la función molecular de distintos reactivos, en conjunto con los principios de química verde que se aplicaban en el experimento. Luego de explicarse la técnica de teñido y la química detrás de la tinción, cada participante contó con la oportunidad de realizar una pieza textil mediante el Shibori, lo cual promovió el aprendizaje de manera interactiva y científica, así como la creatividad. La

implementación experimental de la técnica fue satisfactoria y variada, permitiendo un espacio rico para la comparación de resultados entre los participantes. Se logró un espacio donde se reunieron profesionales en el área de artes plásticas, profesionales en química y estudiantes de diseño, química e ingeniería, hecho que refleja la capacidad interdisciplinaria del estudio. Adicionalmente, se discutió la retroalimentación del taller y posibles oportunidades de mejora para quienes deseen replicar la actividad.

*Palabras clave:* contaminación, textil, biogeoquímicos, Shibori, ambiente.

## Colaboración y capacitación en el aprovechamiento de especies vegetales nativas de la asociación shuar Mura Nunka

*Lorena Imelda Jaramillo Bolaños, Marcelo Fernando*

*Salvador Quiñones, Vanessa Estefanía Sánchez Moreno*

Escuela Politécnica Nacional

lorena.jaramillo@epn.edu.ec, marcelo.salvadorq@epn.edu.ec, vanessa.sanchez@epn.edu.ec

### Resumen

Los conocimientos ancestrales de los pueblos originarios de América en lo referente a cultura, medicina, extractos naturales, etc., tienen mucha aceptación y demanda por parte de las personas que viven en las grandes ciudades de nuestros países. Ecuador no es la excepción de esta realidad actual. Sin embargo, dichos conocimientos, como los de la etnia shuar, se pierden cada día por diversos factores: la necesidad de obtener recursos económicos para el desarrollo de su comunidad y de su familia, por lo que optan por la minería ilegal, que destruye su ecosistema, base fundamental de su milenaria medicina natural; el poco interés de las nuevas generaciones shuar por aprender su cultura y saberes ancestrales, y la migración de

la gente de esta etnia hacia las grandes ciudades, movidos por los deseos de superación económica y personal. Por lo anterior, se realizó un proyecto entre la comunidad shuar Mura Nunka y el Laboratorio de Procesos Químicos del Departamento de Ingeniería Química de la Escuela Politécnica Nacional, con el fin de obtener aceites esenciales de algunas plantas medicinales por medios tecnológicos. El resultado fue la obtención de aceites esenciales por arrastre de vapor de algunas plantas medicinales (san juan, jengibre, etc.) muy usadas por la comunidad, la entrega de equipos a escala de laboratorio para la extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor y la capacitación recibida por parte de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria de la Escuela Politécnica Nacional a los habitantes de la comunidad de Mura Nunka, en lo referente a la obtención de aceites esenciales, uso de equipos, elaboración de productos a base de aceites esenciales y comercialización de dichos productos.

*Palabras clave:* aceites esenciales, arrastre de vapor, shuar.

---

## Uso de fibras de residuos de seudotallo como material de refuerzo en la fabricación de hojas de mano

<sup>1</sup>Alba N. Ardila A., <sup>1</sup>María Camila Moreno, <sup>1</sup>Erasmus Arriola-Villaseñor, <sup>1</sup>Efraín González Villegas, <sup>2</sup>Eduart A. Gutiérrez-Pineda, <sup>3</sup>Cristian C. Villa

1Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, 2Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD),

3Universidad de Quindío anardila@elpoli.edu.co,

maria\_moreno64201@elpoli.edu.co, erasmoarriola@elpoli.edu.co,

efrainvillegas@elpoli.edu.co, eduart.gutierrez@unad.edu.co, ccvilla@uniquindio.edu.co

### Resumen

El uso de fibras de celulosa extraídas de residuos de seudotallo de banano como refuerzo en la fabricación de hojas de mano representa una alternativa sostenible para la industria del papel. Este estudio evalúa cómo los métodos de extracción de fibras, así como sus propiedades morfológicas, influyen en la resistencia mecánica del papel, comparándolas con fibras comerciales de pino (FKPN). Se analizaron longitud, ancho, curvatura, macrofibrilación y porcentaje de finos, junto con resistencia en seco y húmedo, elongación y peso base. Las fibras de seudotallo son más cortas (0.4-1.0 mm) que las de pino (2.1 mm), lo que afecta su entrelazado. No obstante, su mayor ancho (32-59  $\mu\text{m}$  vs. 29  $\mu\text{m}$ ) favorece la cohesión de la red fibrosa. Su alta curvatura (17.5 % vs. 13.5 %) mejora la flexibilidad, pero puede comprometer la rigidez. Se observó un aumento en la macrofibrilación y en el porcentaje de finos, lo que reduciría la resistencia del papel, especialmente en presencia de hidróxido de sodio. Algunas formulaciones con fibras de seudotallo alcanzaron resistencias comparables a las del FKPN, con valores competitivos en seco y húmedo. Sin embargo, la influencia de los tratamientos químicos en la integridad estructural de las fibras sugiere la necesidad de optimizar las condiciones de procesamiento. Adicionalmente,

se debe evaluar el comportamiento del papel en términos de su durabilidad y estabilidad a largo plazo. Este estudio resalta el potencial de las fibras de celulosa provenientes de residuos de seudotallo como alternativa sostenible en la industria papelera. No obstante, se recomienda profundizar en la modificación química y mecánica de las fibras para mejorar sus propiedades y garantizar su viabilidad industrial.

*Palabras clave:* fibras, hojas de mano, morfología, seudotallo de banano, resistencia mecánica.

---

## **Análisis energético y ambiental de un proceso de reciclaje del poliestireno expandido**

*Eliana Berrío Mesa, Alba N. Ardila A., Erasmo Arriola-Villaseñor, Santiago Alexander Betancur*

Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid  
eliana\_berrio27121@elpoli.edu.co, anardila@elpoli.edu.co, erasmoarriola@elpoli.edu.co, santiago\_bedoya27081@elpoli.edu.co

### **Resumen**

Este estudio evaluó las pérdidas de materiales y energía en un proceso industrial de reciclaje de poliestireno expandido (EPS) en Medellín, bajo un enfoque de economía circular. Durante seis meses se establecieron los límites del sistema y se realizó un balance de masa y energía considerando los costos operativos. Se obtuvo un rendimiento del 78.09 % en la producción de poliestireno densificado a partir de EPS posconsumo, con pérdidas asociadas a residuos ordinarios y agua utilizada en el enfriamiento del material. El requerimiento energético total fue de 7350.34 kWh, con un 55.46 % de pérdidas energéticas, principalmente por ineficiencias térmicas en la fundición y desgasificación del material, donde se registraron pérdidas térmicas de hasta el 96 %. El análisis técnico-económico

determinó una viabilidad financiera en 12 años, con oportunidades de mejora al incrementar la materia prima o incursionar en nuevos mercados. Desde la perspectiva ambiental, se pudo demostrar con la evaluación de impactos ambientales, según el método ILCD 2011 Midpoint+ e IPCC GW 100a, que se logró determinar una huella de carbono anual de 332-333 toneladas de dióxido de carbono, que es inferior hasta en un 68.44 % a la huella de carbono generada cuando se incinera en el lugar de reutilizar el EPS posconsumo, favoreciendo la gestión de residuos reciclables. En el ámbito social, la integración de recicladores en la cadena de valor resalta la importancia de este sistema para la generación de empleo. Se concluye que el proceso es viable técnica y económicamente, con un impacto ambiental positivo significativo. No obstante, se recomienda optimizar la eficiencia energética y desarrollar estrategias para la valorización de residuos ordinarios, fortaleciendo así la sostenibilidad del sistema.

*Palabras clave:* análisis energético, economía circular, eficiencia térmica, huella de carbono, poliestireno expandido, reciclaje de plásticos.

## Recuperación de metales de cátodos de baterías de ion-litio gastadas mediante lixiviación con ultrasonido focalizado

*Erasmo Arriola Villaseñor, Melissa Arango Álvarez,  
Santiago Bedoya Betancur, Alba N. Ardila A.*

Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid  
erasmoarriola@elpoli.edu.co, melissa\_arango64232@elpoli.edu.co, santiago\_  
bedoya27081@elpoli.edu.co, anardila@elpoli.edu.co

### Resumen

La disposición inadecuada de baterías de ion-litio (BIL) gastadas genera riesgos ambientales debido a su contenido de metales valiosos y tóxicos, como cobalto, litio, cobre, manganeso,

aluminio y otros en trazas. La lixiviación se presenta como una alternativa sostenible para la recuperación de estos metales, ya que reduce la dependencia de fuentes primarias y fomenta la economía circular. Sin embargo, el desarrollo de métodos eficientes y sostenibles que minimicen el impacto ambiental sigue siendo un desafío técnico y científico. En este contexto, se llevó a cabo un estudio para evaluar la eficiencia de la lixiviación de cátodos de BIL utilizando diferentes agentes lixiviantes, como el ácido cítrico y sulfúrico, ambos en presencia y ausencia de peróxido de hidrógeno. Las lixivitaciones se llevaron a cabo con una amplitud de sonicación del 100 %, temperatura de 65 °C y un tiempo de reacción de 4 h, con una masa de cátodo fija. Bajo estas condiciones se evaluó el porcentaje de eficiencia de recuperación de metales. Para ello se realizaron 4 lixivitaciones 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. 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; entre tanto, 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. En conclusión, la lixiviación asistida por sonicación se perfila como una técnica prometedora para la recuperación de metales valiosos de las BIL 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.

*Palabras clave:* cátodo, lixiviación, baterías de ion-litio, sonicación.

## Pastilla biofertilizante a base de estiércol vacuno con aditivos orgánicos para uso en hidropónicos

*Yaneris Mirabal Gallardo, José Luis Valenzuela, Lázaro Campira Álvarez, Génesis Peña, Constanza Díaz*

Universidad Autónoma de Chile  
yaneris.mirabal01@uautonoma.cl, jose.valenzuela@uautonoma.cl,  
lazaroc1986@gmail.com, genesis.pena2@cloud.uautonoma.cl,  
constanza.diaz8@cloud.uautonoma.cl

### Resumen

La agricultura es uno de los sectores estratégicos para la economía mundial. No obstante, el fuerte aumento en los precios de fertilizantes inorgánicos, provocado por crisis internacionales como el conflicto entre Rusia y Ucrania; las restricciones en exportaciones desde China, y la volatilidad del dólar han influido seriamente en la productividad agrícola. Según la Sociedad Nacional Chilena de Agricultura, entre 2022 y 2023, la producción agrícola nacional cayó entre un 10% y un 15%, provocando alzas en los precios de los alimentos y

afectando directamente a la seguridad alimentaria. En este contexto, el trabajo propone el desarrollo de una pastilla biofertilizante a partir de estiércol vacuno, integrando aditivos orgánicos naturales que permitan crear un insumo eficiente, económico y sostenible para su aplicación en hidroponía. Esta alternativa apunta a reemplazar parcial o totalmente a los formulados nutritivos sintéticos comerciales, reduciendo los impactos ambientales negativos asociados a estos últimos, como la contaminación del agua y acumulación de sales. Por otra parte, el estiércol vacuno es una fuente rica en macronutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), además de micronutrientes y otros compuestos. Su uso, sin embargo, ha sido limitado por falta de tratamiento, tecnificación y estandarización. Este trabajo busca revalorizar este residuo ganadero desarrollando una formulación sólida tipo pastilla, fácil de aplicar y dosificar, adaptable a distintas necesidades agrícolas. Se trabajó en el tratamiento y caracterización del estiércol recolectado en diversas zonas del Maule (Chile), para poder eliminar los patógenos presentes. Posteriormente, se desarrolló la metodología del pastillaje al utilizar aglomerantes y aditivos naturales. Las pastillas se caracterizaron en términos químicos, físicos, microbiológicos y mecánicos, y se evaluó y comparó su efecto como biofertilizante en el cultivo de lechuga en un hidropónico creado por tesis de ingeniería, y se empleó Phostrogen®, un fertilizante comercial para hidropónicos. Los resultados mostraron un mayor crecimiento tanto de la raíz como de la cantidad y tamaño de hojas en las lechugas que estuvieron en contacto con el agua tratada con las pastillas biofertilizantes a base de estiércol; mientras que algunas de las lechugas en contacto con el agua tratadas con el agroquímico comercial no sobrevivieron el tratamiento y, en otros casos, varias hojas se marchitaron. El empleo de estas pastillas biofertilizantes contribuye a la mitigación de emisiones, mediante la valorización de un desecho altamente contaminante. Esta propuesta se vincula con líneas de investigación ya activas en la Universidad Autónoma de Chile (como

el desarrollo de macetas y biotextiles a partir de estiércol), que fortalecen una plataforma tecnológica regional basada en la economía circular. Se espera que esta innovación contribuya a aumentar la soberanía fertilizante nacional, a reducir la huella ambiental de la agricultura, a generar empleos verdes y a posicionar a Chile como referente regional en biofertilizantes sostenibles.

*Palabras clave:* biofertilizante, estiércol vacuno, economía circular, hidroponía, sustentabilidad agrícola.

## Circular Economy in Hydroelectric Reservoirs of Ecuador: Sediment Characterization and Valorization

*Jonathan Andrés Cepeda Guerrón, Jhoselin Estefanía Alvear López*

Universidad Central del Ecuador  
jacepeda@uce.edu.ec, jealvear@uce.edu.ec

### Resumen

The accumulation of sediments in hydroelectric reservoirs in Ecuador represents a growing threat to energy efficiency, water quality, and the lifespan of infrastructure. This nationally significant issue not only reduces the storage capacity of reservoirs but also causes significant operational and environmental damage. In response to this challenge, the present project proposes an innovative solution based on the principles of circular economy and sustainability: the implementation of constructed wetlands that act as natural filters, improving water quality and promoting associated ecosystems. Additionally, the retained sediments are treated and transformed into value-added products with applications in agriculture, aquaculture, and construction. This initiative aims to turn an environmental liability into an opportunity for

sustainable development, contributing to the resilience of the country's hydroelectric systems. Physicochemical analysis of the sediments revealed a high concentration of organic matter, with organic carbon contents ranging from 5% to 16%. This composition favors intense microbial activity, which, through processes such as aerobic decomposition and nitrification, consumes significant amounts of dissolved oxygen, generating hypoxic conditions harmful to sensitive aquatic organisms. This phenomenon is exacerbated by increasing water temperatures due to climate change, which further reduces oxygen solubility. Despite these environmental impacts, the sediments show high potential for valorization. Key nutrients such as phosphate (0.98 mg/L) were identified, useful for agricultural applications. Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) analyses revealed the presence of functional groups such as carboxyl and carbonyl, which enhance nutrient and metal adsorption capacity. Brunauer-Emmett-Teller (BET) surface area analysis showed high porosity, favorable for environmental remediation applications, while thermogravimetric analysis (TGA) confirmed good thermal stability, supporting their use in soil amendments and potential biofuel production processes. Together, these findings demonstrate that although sediment accumulation poses a significant challenge, the implementation of constructed wetlands combined with a sediment valorization strategy offers a promising pathway toward the sustainability and resilience of hydroelectric systems.

*Palabras clave:* sediments, hydroelectric reservoirs, constructed wetlands, valorization, circular economy.

---

## Estimación de pérdidas evaporativas de gasolina en tanques de almacenamiento de una estación de servicio

<sup>1</sup>Pedro Iván Orozco Cury, <sup>2</sup>Natalia García Gallardo,  
<sup>2</sup>Sergio Alexander González Pachón, <sup>1</sup>Arturo González  
Quiroga, <sup>1</sup>Víctor Javier Pughiese Manotas

<sup>1</sup>Universidad del Norte, <sup>2</sup>Universidad del Atlántico  
piorozco@uninorte.edu.co, ngarciag@mail.uniatlantico.edu.co,  
sergioalexandergonzalez@mail.uniatlantico.edu.co,  
arturoq@uninorte.edu.co, vpughiese@uninorte.edu.co

### Resumen

Las estaciones de servicio desempeñan un papel fundamental en la cadena de valor comercial de combustibles líquidos derivados del petróleo; pero, durante sus operaciones diarias, enfrentan pérdidas de inventario, debido a la evaporación de productos como la gasolina. Este fenómeno lo causan factores como la volatilidad del combustible, la variación climática que resulta en los cambios de temperatura, el sistema de descarga y el tipo de tanque usado para el almacenamiento. La emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV), derivados de la evaporación al reaccionar con los óxidos de nitrógeno emitidos por los vehículos y la luz solar, forma ozono troposférico y esmog fotoquímico, capaces de afectar la calidad del aire y la salud humana. Ante esta problemática, se estimaron las pérdidas evaporativas de la gasolina en las operaciones asociadas a la comercialización de una estación de servicio clase B, ubicada en Barranquilla (Colombia) para un año operativo completo (2024), usando las normas API MPMS. Los cálculos para 2024 determinaron que la estación de servicio presenta una pérdida volumétrica total de 790.75 gal/año, lo que representa el 0.11 % del volumen total comercializado en la estación. El estudio confirmó que la presión de vapor Reid y la temperatura fueron factores determinantes en las pérdidas evaporativas. Se evidenció que los meses con mayores

pérdidas en Barranquilla fueron mayo, julio y agosto, lo que refleja la influencia climática sobre el fenómeno y la necesidad de mitigar estas pérdidas mediante estrategias efectivas. Se recomienda implementar sistemas de recuperación de vapores para reducir tanto el impacto ambiental como las pérdidas económicas asociadas.

*Palabras clave:* emisiones, equilibrio, evaporación, gasolina, hidrocarburos, vapores.

---

## Iniciativas de economía circular en la construcción urbana: desarrollo de nuevos materiales biobasados

*<sup>1</sup>Carlos Negro, <sup>2</sup>Amanda Mattsson, <sup>1</sup>José Luis Sánchez-Salvador, <sup>2</sup>Gunilla Pettersson, <sup>1</sup>Ana Balea, <sup>1</sup>M. Concepción Monte, <sup>1</sup>Elena de la Fuente, <sup>1</sup>Ángeles Blanco, <sup>2</sup>Per Engstrand*

<sup>1</sup>Department of Chemical Engineering and Materials, University Complutense of Madrid, Spain, <sup>2</sup>Department of Engineering, Mathematics and Science Education, MIUN, Sundsvall, Sweden  
cnegro@ucm.es

### Resumen

La construcción y los edificios están en la base de enormes cadenas de valor de materiales. Adoptar la circularidad en este sector es crucial para optimizar el uso de recursos y minimizar los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida de los edificios y los materiales de construcción. La economía circular tiene como objetivo desarrollar y aplicar estrategias con las cuales garantizar que los productos y materiales se mantengan en uso en su nivel de aplicación más alto, con un impacto medioambiental mínimo a lo largo de toda la cadena de valor. Esto significa que debe considerarse un enfoque holístico desde el diseño, pasando por la producción y uso, hasta el desmantelamiento y la gestión de residuos. Mirar hacia delante

implica planificar y diseñar considerando la sostenibilidad y previendo cómo pueden reutilizarse, reciclarse o reutilizarse los materiales en el futuro. Esto significa seleccionar materiales duraderos, fáciles de desmontar y potencialmente reciclables. Mirar hacia atrás implica evaluar el impacto y las posibilidades de recogida, mejora y reutilización de los residuos de demolición actuales para diferentes aplicaciones. De este modo, se desarrollarán soluciones a corto y largo plazo. El proyecto CirCoCreation investiga cómo mejorar la participación ciudadana en las iniciativas de construcción circular urbana (UCCI) para contribuir activamente a reutilizar y reciclar los materiales de construcción y rediseñar los productos de construcción, a fin de mejorar la sostenibilidad a corto y largo plazo. La integración colectiva de las múltiples partes interesadas, desde responsables políticos y líderes industriales hasta constructores y consumidores, es esencial para superar las barreras tecnológicas y no tecnológicas. El objetivo fue crear un ecosistema urbano circular que salve las distancias entre los agentes implicados en la UCCI. Con este fin participan en el proyecto dos *living labs*: uno centrado en mejorar la reutilización de los materiales de demolición actuales (Lovaina, BE) y otro enfocado en rediseñar productos para permitir su reciclabilidad (Sundsvall, SE). El rediseño de los materiales de construcción se concentra en el desarrollo de nuevos materiales biobasados sostenibles a base de fibras de celulosa para aplicaciones 2D y 3D, a efectos de fabricar tableros de alta resistencia y resistentes a la humedad para su uso en proyectos de construcción. Los nuevos materiales compuestos basados en papel pueden ser reutilizados en futuras reformas y, finalmente, reciclados al final de su vida útil dentro de las plantas de reciclaje existentes. Este trabajo presenta una solución para mejorar las propiedades mecánicas de los tableros a base de papel, lo que resulta crucial para mejorar su rendimiento en aplicaciones estructurales. Un método particularmente eficaz para aumentar la resistencia es el prensado húmedo en caliente, en el que el ablandamiento de

la lignina desempeña un papel clave para promover la unión de las fibras. Los resultados muestran que se pueden conseguir mejoras de la resistencia de hasta el 180 %.

*Palabras clave:* economía circular, residuos de construcción, nuevos materiales biobasados, prensado en caliente.

---

## Filtro de celulosa a partir de vástago de plátano para el tratamiento de aguas contaminadas por colorantes

*Manuel Andrés Villanueva León, Clara María Mejía Doria, Yula Mercedes Giraldo Castaño*

Universidad del Quindío  
mavillanueval@uqvirtual.edu.co, cmmejia@uniquindio.edu.co,  
ymgiraldo@uniquindio.edu.co

### Resumen

Una gran parte de las fuentes hídricas del mundo está sufriendo una grave contaminación, consecuencia de los vertimientos residuales, especialmente aquellos cargados con colorantes utilizados en las industrias textil, papelera y alimentaria, así como en importantes técnicas microbiológicas como colorante de contraste en microbiología. Su intensa coloración, baja biodegradabilidad y alta toxicidad no solo representan una seria amenaza para la salud humana, sino para el medio ambiente. En este sentido, los filtros elaborados a base de celulosa extraída a partir de residuos agrícolas representan una alternativa innovadora y sostenible, ya que la celulosa es un material abundante, biodegradable y de fácil obtención, lo que la convierte en una opción atractiva para el tratamiento de aguas contaminadas. Por consiguiente, con este trabajo se buscó formular un filtro de celulosa extraída del vástago de plátano y evaluar su capacidad de remoción de colorantes, como la safranina y el cristal violeta, con el propósito

de obtener un filtro cilíndrico de 10 mm de altura y 17 mm de diámetro, con porosidad del 70 %, permeabilidad de 20 Darcys y capacidad de intercambio iónico de 0.013 meq/g. Así mismo, fue posible filtrar 1 L de solución coloreada a pH 2 en sistemas mono y bicomponente, logrando remover un 96 % de safranina y un 93 % de cristal violeta en ambos sistemas. Estos valores se mantuvieron durante dos ciclos adicionales, previa regeneración del filtro mediante lavado con etanol acidulado. En el caso de muestras de agua residual provenientes de la técnica de tinción de Gram, se observó que la presencia de acetona puede afectar negativamente la eficiencia de remoción. Los resultados obtenidos demuestran que la celulosa tiene la capacidad de remover eficientemente colorantes, como la safranina y el cristal violeta, en sistemas mono y bicomponente, con posibilidad de reutilización tras un proceso simple de lavado. Además, el filtro desarrollado presenta características prometedoras como alta eficiencia de remoción, capacidad de procesamiento de volumen, reutilización y sostenibilidad, lo que refuerza su potencial como solución viable para el tratamiento de aguas contaminadas.

*Palabras clave:* filtro, colorante, remoción, reutilización.

## Biomasa residual del sector avícola y porcícola en el Atlántico: análisis ambiental y oportunidades bioenergéticas

*Juan Carlos Nieto, Neila Mantilla*

Universidad de la Costa  
energiarepel@crautonomia.gov.co, nmantill3@cuc.edu.co

### Resumen

El Departamento del Atlántico concentra una intensa actividad avícola y porcícola con implicaciones ambientales y

oportunidades para la bioenergía. A diciembre de 2024, existían 78 granjas avícolas registradas con capacidad para 8.54 millones de aves/año, representando el 3.97 % del inventario avícola nacional. La mayoría (66.7 %) se dedica al engorde de pollo; mientras que el 25.6 % corresponde a postura. En paralelo, se identificaron 26 granjas porcícolas bajo control ambiental, que albergan un total de 132 273 cerdos/año, con fuerte concentración en el municipio de Baranoa (76 963 animales). El estudio se enfocó en el 100 % de las granjas avícolas y porcícolas sujetas a seguimiento y control por parte de la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA). Se realizó una caracterización técnica y espacial, evidenciando que municipios como Sabanalarga (1 222 000 aves), Repelón (850 000 aves en una sola granja) y Malambo (564 000 aves) generan grandes volúmenes de biomasa residual. En el sector porcícola, además de Baranoa, Polonuevo concentra 15 951 animales distribuidos en seis granjas. Estas cifras reflejan una carga ambiental significativa, asociada a vertimientos líquidos no tratados, emisión de gases como ácido sulfhídrico y amoníaco, y conflictos socioambientales documentados en, al menos, diez quejas ante la autoridad ambiental en los últimos cinco años. Los resultados evidencian que tecnologías como la digestión anaerobia (DA) permitirían transformar estos residuos pecuarios en energía renovable y biofertilizantes, mitigando impactos ambientales y cumpliendo con normativas como las resoluciones 631 de 2015 y 627 de 2006. En términos de producción, el Departamento del Atlántico generó 1.83 millones de toneladas de carne de pollo y 18 019 millones de huevos en 2024, lo que refuerza su relevancia nacional (4 % del PIB avícola colombiano). En porcicultura, se sacrificaron 237 599 cerdos en el departamento, aportando el 4.1 % al total nacional. Se concluye que el Departamento del Atlántico reúne condiciones técnicas, normativas y territoriales para implementar sistemas de DA. Las zonas de alta densidad productiva coinciden con áreas ambientalmente viables para proyectos bioenergéticos, lo cual facilitaría la

creación de comunidades energéticas rurales en el marco de lo establecido por el Decreto 2236 de 2023. Esta estrategia, promovida por la CRA, junto con Fenavi y Porkcolombia, se proyecta como eje de las agendas ambientales 2025-2027 para una transición energética justa y sostenible en la región.

*Palabras clave:* residuos pecuarios, biogás, avícolas, porcícolas, digestión anaerobia.

---

## Digestión anaerobia aplicada a residuos urbanos: estudio de caso y estimación del rendimiento energético en Malambo (Colombia)

*David Fábregas, Neila Mantilla*

Universidad de la Costa  
dfabrega1@cuc.edu.co, nmantill3@cuc.edu.co

### Resumen

La creciente generación de residuos sólidos municipales y la limitada gestión de residuos orgánicos en Malambo (Departamento del Atlántico, Colombia) evidencian la necesidad de implementar soluciones sostenibles que contribuyan a la producción de energía renovable. En 2022 se generaron en el municipio 3652.78 toneladas de residuos, de los cuales el 48.18% correspondió a fracción orgánica, es decir, aproximadamente 1759.9 toneladas anuales. Esta investigación evaluó el potencial de aprovechamiento energético de dichos residuos mediante digestión anaerobia, con el objetivo de fortalecer el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos y apoyar el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 7 y 12. El estudio se estructuró en tres fases: la primera incluyó

un análisis socioeconómico y sociodemográfico del municipio, que reveló una densidad poblacional de 1332.87 hab./km<sup>2</sup> y un índice de pobreza multidimensional urbano del 44.1 %. La segunda fase consistió en la caracterización y cuantificación de los residuos mediante un muestreo estratificado de 84 viviendas, análisis físico (humedad y sólidos volátiles) y revisión de datos suministrados por Interaseo SAS ESP, que en 2024 gestionó 25 503.8 toneladas de residuos, de las cuales el 67.6 % fueron orgánicos. Finalmente, en la tercera fase se revisó la literatura sobre la producción de biometano, estimando rendimientos entre 0.35 y 0.55 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/kg de sólidos volátiles aplicables a las 1759.9 toneladas anuales, lo que representa un potencial energético promedio de 310 000 a 487 000 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/año. Los resultados indican que Malambo cuenta con condiciones técnicas y sociales favorables para implementar tecnologías de digestión anaerobia, aprovechando el biogás como fuente de energía y el digestato como fertilizante. Se concluye que una adecuada separación en la fuente, acompañada de educación ambiental y políticas públicas integradoras, permitiría transformar un problema ambiental en una oportunidad energética, reduciendo la huella de carbono y promoviendo una economía circular localmente sostenible.

*Palabras clave:* digestión anaerobia, residuos sólidos orgánicos, biogás, biometano.

---

## Estrategias para el uso de cenizas provenientes de calderas alimentadas por biomasa vegetal: un análisis de economía circular

*Carol Gineth Ibáñez Rodríguez, Saúl Martínez  
Molina, Juan David Mahecha Pulido*

Universidad de los Llanos  
carol.ibanez@unillanos.edu.co, smartinezmolina@unillanos.edu.co,  
juandmahechap@gmail.com

### Resumen

La gestión ambiental sostenible es un tema prioritario en la actualidad, ya que busca minimizar el impacto negativo de las actividades humanas en el medio ambiente. En este contexto, se analizaron las estrategias de aprovechamiento de las cenizas generadas por calderas alimentadas con biomasa vegetal, desde la economía circular y la gestión ambiental sostenible. A través de una revisión bibliográfica sistemática, se identificaron, clasificaron y evaluaron diversas aplicaciones técnicas para este residuo, con énfasis en su valorización en sectores agrícolas, industriales y de construcción. Para ello, se emplearon herramientas como Tree of Science y Gephi, que permitieron estructurar redes de citación y priorizar estudios científicos clave. Los resultados indican el alto potencial de las cenizas de biomasa para su uso como fertilizantes, enmiendas de suelo, aditivos en materiales de construcción, geopolímeros, biocombustibles y materiales fotocatalíticos. Se desarrolló una caracterización fisicoquímica detallada del residuo, destacando su composición heterogénea, rica en elementos como calcio, potasio, magnesio, fósforo y sílice amorfa. Asimismo, se compararon las rutas técnicas de aprovechamiento, considerando criterios de valor agregado, impacto ambiental, costo operativo y eficiencia tecnológica. Se concluye que el uso de cenizas de biomasa puede contribuir significativamente a la reducción de residuos sólidos, a la sustitución de materias

primas vírgenes y al cierre de ciclos productivos, promoviendo modelos de producción más sostenibles. Este estudio plantea lineamientos estratégicos para su implementación en cadenas de valor y promueve políticas de simbiosis industrial bajo los principios de la economía circular.

*Palabras clave:* cenizas de biomasa, economía circular, valorización de residuos, gestión ambiental.

---

## Negocios y gestión de proyectos

En la industria de procesos, y en particular en la ingeniería química, un buen proyecto no se mide solo por la excelencia técnica, sino por su capacidad de crear valor sostenido: ingresos estables, costos controlados, riesgos gestionados, impacto ambiental y social positivo, y aprendizaje organizacional. En Colombia y Latinoamérica, donde conviven oportunidades de reindustrialización, encadenamientos productivos y transición energética con realidades de volatilidad cambiaria, costos logísticos y trámites, la gestión integrada de negocios y proyectos es la diferencia entre una idea prometedora y una planta operando con éxito.

Este capítulo enmarca el ciclo completo relacionado con proyectos y negocios, identificando trabajos que parten del problema de mercado, diseño de la propuesta de valor, evaluación tecnoeconómica temprana, licenciamiento, financiación, contratación, construcción, puesta en marcha y operación estable. Propone gobernanza simple y efectiva, con decisiones por etapas (filtros claros); reportes que conectan lo técnico, lo financiero y lo ambiental, y una relación temprana con autoridades, comunidades y proveedores clave.

## Estrategias clave para una planeación de proyectos exitosa en química e ingeniería química

*Mariana González Castellanos*

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)  
castellanos.marianag@gmail.com

### Resumen

La gestión de proyectos es necesaria, e incluso obligatoria, en todas las ramas del conocimiento y en casi cualquier ámbito. Una deficiente o carente gestión del proyecto puede llegar a comprometer su éxito o llevarlo a su disolución. En química y en ingeniería química, no es la excepción. El objetivo fue demostrar la importancia de una buena planeación del proyecto, desglosando los imprescindibles o los aspectos clave que hay que tomar en cuenta para poder gestionar un proyecto estratégicamente y lograr el éxito. La ponencia está dirigida a emprendedores, profesionales, académicos y estudiantes de química e ingeniería química, pues el lenguaje evita tecnicismos y se enfoca en la comprensión profunda y natural de cada concepto, apelando a situaciones cotidianas o en relación con la química. Se toma como punto de partida las partes o las etapas de la administración: planeación, organización, dirección, control y retroalimentación. Al detallar la etapa de planeación, se abordan temas como temporalidad, comunicación, objetivo, difusión, desempeño, alcance, desarrollo, programa y recursos. Para ilustrar la información se toman proyectos realizados por el Capítulo Estudiantil ACS UNAM durante el periodo 2024-2025. Planear un proyecto es solo una parte de su gestión; sin embargo, es la piedra angular que permite vislumbrar implícitamente las etapas organización, dirección, control y retroalimentación. La gestión de proyectos es un tema dinámico y requerirá competencias como liderazgo; toma de decisiones; objetividad y análisis crítico; trabajo en equipo; visión a pequeño, mediano y largo plazo;

rápida adaptabilidad, y la capacidad de conectar cada tarea y recurso con el objetivo del proyecto. En conclusión, se busca identificar la importancia de una sólida gestión de proyectos y proponer a la audiencia estrategias para gestionar proyectos de una forma más eficiente.

*Palabras clave:* proyecto, estrategia, administración, organización, gestión.

## Estudio bibliométrico para la innovación en desodorantes naturales

*Valentina De la Rosa Murillo, Mariana  
Pérez González, Jeffrey León-Pulido*

Universidad Ean  
vdelaro48299@universidadean.edu.co,  
mperezg89974@universidadean.edu.co, jleomp@universidadean.edu.co

### Resumen

El estudio aborda la intersección entre inteligencia artificial generativa (IAG), química verde e ingeniería sostenible como ejes estratégicos para el análisis y desarrollo de innovaciones en productos cosméticos sostenibles. La IAG ha emergido como una herramienta disruptiva para el procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos científicos, pues identifica patrones complejos, correlaciones emergentes y tendencias tecnológicas en diversos campos del conocimiento. En el ámbito educativo y científico, su integración ha demostrado un alto potencial para personalizar entornos de aprendizaje, optimizar la transferencia de conocimiento en disciplinas técnicas y mejorar la comprensión de conceptos avanzados relacionados con la ingeniería química. Paralelamente, el enfoque de la química verde promueve la adopción de procesos y materiales sostenibles, priorizando el uso eficiente de recursos, la reducción de sustancias tóxicas y la minimización de residuos en las etapas de formulación y producción. Este estudio bibliométrico

analiza la producción científica internacional vinculada con el desarrollo de desodorantes naturales bajo los principios de sostenibilidad y química verde, utilizando herramientas de IAG para minería de datos, clasificación temática y análisis de redes de coautoría y citación. Los resultados identificaron tendencias de investigación, actores relevantes, áreas de innovación y vacíos científicos que orientan futuras líneas de desarrollo tecnológico en cosmética sostenible. En conjunto, la articulación entre IAG, química verde e ingeniería sostenible se presenta como una estrategia de alto impacto para fomentar la innovación responsable, optimizar los procesos de formulación de productos naturales y fortalecer la transición hacia modelos productivos más circulares y ecológicamente equilibrados en la industria química y cosmética.

*Palabras clave:* desodorante, cuidado personal, química verde, desodorante natural, procesos químicos.

---

## Gestión de la utilidad usando el conjunto estrategia y manejo de personas

*Israel Ginez Villacís*

Universidad Central del Ecuador  
israel.ginez@gmail.com

### Resumen

Basado en su libro editado por Amazon.com, el autor explica cómo el cambio de conducta está relacionado con el direccionamiento que el empleado recibe para realizar sus tareas. La aplicación del método propuesto por el autor redundará sobre varios elementos de la administración de la empresa, como la utilidad, el desempeño de las personas y el cambio de actitud. Describe los métodos de remuneración y su forma de cálculo, derivando desde los conceptos financieros hasta su aplicación

práctica. Provee múltiples ejemplos y analiza casos reales en las cuales el autor participó, lo que convierte al libro en un manual práctico para que cualquier gerente pueden aplicar estos métodos.

*Palabras clave:* administración, estrategia, personal, remuneración.

---

## Tratamiento de aguas

El tratamiento de aguas es el “sistema circulatorio” de la industria y la ciudad: asegura agua para la gente y los procesos, protege ríos y acuíferos, y habilita el reúso como nueva fuente. En Colombia y América Latina el reto es doble: ampliar la cobertura y mejorar su calidad (potabilización y saneamiento) y, a la vez, hacer más con menos energía, químicos y lodos en contextos de variabilidad climática (sequías y lluvias extremas) y altas cargas urbanas e industriales.

El mejor tratamiento se diseña desde la fuente y se mide en resultados: agua segura, ríos protegidos, reúso confiable, menos energía y lodos, y plantas preparadas para un clima más variable. Este capítulo ofrece resultados de proyectos y herramientas para pasar del cumplimiento al desempeño.

## Desalinización de agua y recolección de aguas lluvias para suministro de agua potable: caso estudio en el Departamento de Bolívar

*Miguel Ángel Cuesta Peña*

Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco  
mcuesta@tecnologicocomfenalco.edu.co

### Resumen

En el Departamento de Bolívar, a través de informes presentados por entidades públicas, se ha evidenciado insuficiencia en la cobertura de los servicios de agua potable para consumo humano y saneamiento básico, además del alto riesgo en la calidad del agua en algunos municipios estudiados en la presente investigación. De ahí la necesidad de investigar y proponer metodologías eficientes y económicamente viables que contribuyan a mejorar las condiciones actuales de calidad de vida de los habitantes de comunidades vulnerables en los municipios del Departamento de Bolívar. Por lo anterior, la investigación tuvo como objetivo diseñar un sistema de redes de agua que integre un proceso de desalinización y un mecanismo de captación de aguas pluviales, para aumentar el suministro de agua potable en zonas críticas del departamento. El desarrollo del sistema implicó elaborar un perfil del saneamiento básico, índices de calidad del agua y un análisis estadístico de precipitación de agua en el Departamento de Bolívar. Para seleccionar la zona con mayor potencial de implementación de un sistema de red integrado para agua potable y desalinización, se seleccionaron siete municipios del norte de Bolívar, por sus condiciones geográficas, por la precipitación de agua lluvia y por su cercanía al litoral costero, que permiten crear un esquema de distribución de aguas desalinizadas y pluviales económicamente viable; además se seleccionaron los sistemas de captación de agua lluvia en techo y desalinización de agua de mar implementando tecnologías

de osmosis inversa, mediante criterios técnicos y económicos para la aplicación en dichas redes integradas. Finalmente, la investigación propuso una estructura de integración de aguas para aumentar la cobertura y suministro en los municipios estudiados que resalta como centro de distribución una planta de desalinización cuya ubicación propuesta es el municipio de Arjona, por su cercanía al mar y facilidad de conexión con los demás municipios seleccionados para la red de integración.

*Palabras clave:* cobertura, desalinización, integración, potabilización, osmosis.

## Síntesis de biocoagulantes a partir de escamas y esqueletos de pescados (*Oreochromis niloticus* y *Prochilodus magdalenae*)

*Juan Alcalá Castilla, Eimy Zapata Cuello, Ángel Villabona Ortiz*

Universidad de Cartagena

jascalac@unicartagena.edu.co, ezapatacl@unicartagena.edu.co,

avillbonao@unicartagena.edu.co

### Resumen

En la actualidad, comúnmente, se utilizan los coagulantes metálicos para el tratamiento de aguas turbias, los cuales son desfavorables para el medio ambiente y la salud humana; así mismo, es necesario el disminuir los residuos sólidos y líquidos generados por la industria pesquera. Por lo tanto, la investigación plantea una alternativa con las escamas y los esqueletos de dos pescados (*Oreochromis niloticus* y *Prochilodus magdalenae*), para su aplicación como biocoagulante en la remoción de la turbidez en las aguas. Otras alternativas similares han extraído quitoproteína para tratar aguas contaminadas y colágeno para crear productos cosméticos. Los objetivos planteados aquí fueron extraer hidroxapatita y colágeno como biocoagulantes, por medio del método de precipitación, y caracterizar

las muestras obtenidas utilizando FTIR, DRX, y SEM-EDS, estimando la eficiencia y desempeño del biocoagulante en la remoción de la turbidez en las aguas. De acuerdo con los resultados, se destaca un rendimiento del 50 %-58 % y una eficiencia del 90 %-94 % de remoción de turbidez en muestras de aguas sintéticas. La investigación es un avance frente al conocimiento sobre la remoción de turbidez, utilizando residuos de la industria pesquera y valorizando dichos residuos, en el concepto de la economía circular.

*Palabras clave:* biocoagulante, dosis óptima, eficiencia, residuos pesqueros, remoción de turbidez.

## Valorización de residuos pesqueros con la extracción de colágeno tipo I para su aplicación en remoción de turbidez en aguas

*Nicole Yances Güette, Eimy Zapata Cuello, Ángel Villabona Ortiz, Candelaria Tejada Tovar, Juan Vergara Villadiego*

Universidad de Cartagena

nyancesg@unicartagena.edu.co, ezapatacl@unicartagena.edu.co,  
avillabonao@unicartagena.edu.co, ctejadat@unicartagena.edu.co,  
jvergaravl@unicartagena.edu.co

### Resumen

La investigación busca ofrecer una alternativa sostenible para disminuir el uso de coagulantes químicos, ya que en su proceso generan lodos con metales pesados y compuestos tóxicos. De este modo, debido a la problemática generada por la industria pesquera por los desperdicios de las escamas y esqueletos de pescados, el objetivo fue aprovechar los residuos de *Oreochromis niloticus* y *Prochilodus magdalenae*, para su aplicación como biocoagulantes en la remoción de turbidez en aguas y darles un valor agregado. En investigaciones sobre las

escamas de pescado, se ha logrado extraer colágeno mediante la implementación del método ASH, así como quitoproteína, para el tratamiento de aguas contaminadas. De este modo, se planteó la extracción de colágeno utilizando una parte del método ASH y se evaluó su eficiencia y desempeño en la remoción de turbidez en el agua. Los resultados mostraron un rendimiento de extracción del 10 % al 25 %, siendo mayor en las escamas, con una eficiencia del 93 % al 97 % en la eliminación de turbidez y un desempeño óptimo en términos de conductividad. Una de las principales conclusiones de esta investigación fue demostrar que los biocoagulantes a base de colágeno son eficientes para la remoción de turbidez, ya que presentan un aporte significativo a la comunidad científica en la implementación de residuos pesqueros en tratamientos de aguas y medio ambiente.

*Palabras clave:* aprovechamiento de residuos, coagulante natural, residuos pesqueros, eliminación de turbidez.

---

## Simulación de desalinización de agua de subterránea empleando ósmosis inversa

<sup>1</sup>Sebastián Felipe Torres Useche, <sup>1</sup>Mario Andrés

Noriega Valencia, <sup>2</sup>Abdon Parra López

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, 2Desal SAS  
storresu@unal.edu.co, manoriegava@unal.edu.co, apparral@hotmail.com

### Resumen

El acceso a recursos hídricos seguros se ha convertido en una preocupación global, debido a los efectos del cambio climático, la reducción de fuentes de agua potable y la gestión ineficiente de las aguas residuales. En Colombia, varias regiones enfrentan estrés hídrico, lo que ha incrementado la vulnerabilidad hídrica y generado la necesidad de diversificar las fuentes de

abastecimiento de agua. En este contexto, la desalinización surge como una alternativa viable, destacándose el uso de la ósmosis inversa como tecnología principal para la purificación del agua, con el fin de suplir la demanda de consumo humano. Entre las fuentes disponibles para la obtención de agua para desalinización se encuentra el agua subterránea, de un marcado interés para las comunidades locales, pues es la fuente más cercana a este recurso y permite una mejoría significativa sobre la seguridad hídrica en regiones donde el suministro de agua potable es reducido. La ósmosis inversa es un proceso que invierte el fenómeno natural de la ósmosis mediante la aplicación de presión a una solución concentrada en contacto con una membrana semipermeable, permitiendo el paso de agua y separando los solutos. Los sistemas de desalinización incluyen una etapa de pretratamiento para remover partículas coloidales y sólidos en suspensión ( $>0.1 \mu\text{m}$ ), donde se emplean procesos como coagulación-floculación, filtración y tecnologías de membranas (microfiltración y ultrafiltración). Luego, el agua es impulsada por bombas de alta presión a través de membranas de ósmosis inversa para separar los solutos. Finalmente, el agua purificada es acondicionada para cumplir con las normativas de calidad para consumo humano. El presente estudio tuvo como objetivo simular un proceso de desalinización mediante ósmosis inversa, utilizando parámetros de agua subterránea extraída de pozos en la región de La Guajira. Se analizaron diversas tecnologías de pretratamiento considerando su viabilidad técnica y económica para su implementación en Colombia. Los resultados mostraron que la selección adecuada del pretratamiento mejora la eficiencia del proceso y prolonga la vida útil de las membranas, reduciendo costos operacionales. Se concluyó que la implementación de sistemas de ósmosis inversa en regiones con estrés hídrico puede representar una solución viable para la crisis de abastecimiento de agua

potable, siempre que se realice una evaluación integral de las condiciones locales y los costos asociados.

*Palabras clave:* desalinización, ósmosis inversa, simulación, agua subterránea, pretratamiento.

## Analyzing Hydrogen Sulfide (H<sub>2</sub>S) Production in the Sewer System of Cartagena de Indias - Colombia: A Diagnostic Approach to Odor Management

*David Camilo Cueto Ferreira, José Zapata Pinedo*

Aguas de Cartagena

david.cueto-ferreira.ext@veolia.com, jzapata@acuacar.com

### Resumen

The production of hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) in urban wastewater systems poses significant challenges to environmental quality, public health, and infrastructure maintenance. In Cartagena de Indias – Colombia, this issue has become especially critical due to frequent and widespread odor complaints linked to H<sub>2</sub>S emissions at multiple points in the sewer network and pretreatment facilities. This study is centered on the comprehensive analysis and identification of the mechanisms driving H<sub>2</sub>S production in Cartagena, with particular attention to the role of seawater infiltration as a primary driver. The research aims to understand how the high sulfate loads introduced by seawater intrusion—coupled with low dissolved oxygen conditions—create anoxic environments that favor sulfate-reducing bacterial activity. Through a phased methodology, the project first maps and characterizes critical zones in the system where anaerobic conditions and microbial sulfate reduction are prevalent. These findings are supported by field measurements of key parameters such as sulfate concentration,

anoxic zones, and H<sub>2</sub>S levels. This research provides a critical foundation for the design of targeted mitigation strategies by offering a detailed diagnosis of the spatial and operational drivers of H<sub>2</sub>S production. It aims to guide the implementation of evidence-based odor management solutions while informing long-term planning and sustainable operation of sewer infrastructure in coastal urban settings such as Cartagena. By addressing the root causes of H<sub>2</sub>S formation, this work contributes to improving environmental performance, public health outcomes, and system resilience.

*Palabras clave:* sulfide production, sewer systems, odor control, H<sub>2</sub>S control, domestic wastewater.

## Impact of Pt Impregnation on P25 for Visible Light Photocatalytic Applications

<sup>1</sup>Jennyffer Stefanía Martínez Quimbayo, <sup>1</sup>Saeid Khesali Azadi, <sup>2</sup>Javier Fernandez Catalá, <sup>1</sup>Assa Aravindh, <sup>1</sup>Satu Ojala, <sup>1</sup>Samuli Urpelainen

<sup>1</sup>University of Oulu, <sup>2</sup>University of Alicante  
 jennyffer.martinezquimbayo@oulu.fi, saeid.khesaliazadi@oulu.fi,  
 javier.fernandez-catala@oulu.fi, assa.sasikaladevi@oulu.fi,  
 satu.ojala@oulu.fi, samuli.urpelainen@oulu.fi

### Resumen

The detection of herbicides like diuron (DIU) and atrazine (ATZ) in water bodies is concerning scientists related to their environmental and health risks. The potential risks are rising, since current water treatment techniques are not effective with these kinds of pollutants. Photocatalysis is a promising method that can be used for water treatment. Titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) is a photocatalyst with good performance under UV range, and its commercial form is commonly known as P25 that is a combination of 80% anatase and 20% rutile phase.

However, to use the solar spectrum better, it is necessary to have photocatalysts that are active under visible range, as in solar spectrum 42% is visible light and only 5% is UV. In this case we doped P25 with Pt nanoparticles to reach better light absorption, and to analyze the interaction of their atoms and evaluate their photocatalytic activity for degradation of herbicides. P25 was impregnated with different percentages of Pt (0.2%, 0.5% and 1%). XRD showed that Pt with 1% loading contains Pt<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and most probably the Pt particles are also entering in the P25 lattice. For all the samples it was possible to identify a band gap and Valence band that correspond with TiO<sub>2</sub> and PtO<sub>x</sub>, supporting a heterojunction behavior. Photocatalytic activity was evaluated under visible light using white LED light. The best photocatalytic DIU removal was observed for the sample impregnated with 0.2%PtP25 reaching ~20% degradation in comparison with ~7% removal of the P25 in 5 h irradiation time. While for ATZ degradation during 5 h irradiation 0.2%PtP25 sample made ~7% degradation in comparison with ~1% removal of the P25. Based on experiments, the photocatalysts are stable and can be reused. Pt impregnation on P25 creates a heterojunction structure that improves their photocatalytic performance under visible light making these photocatalysts useful for water treatment applications.

*Palabras clave:* herbicides, diuron, photocatalysis, watertreatment, atrazine.

---

## Elaboración de un sorbente utilizando residuos de cidra para la remediación de plomo en aguas contaminadas

*Juan Diego Márquez Gómez, Clara María Mejía  
Doria, Yula Mercedes Giraldo Castaño*

Universidad del Quindío

juand.marquezg@uqvirtual.edu.co, cmmejia@uniquindio.edu.co,

ymgiraldo@uniquindio.edu.co

### Resumen

La contaminación por plomo en los recursos hídricos representa un problema para la salud humana y el medio ambiente, debido a que minimiza la disponibilidad de agua potable. Por ello, métodos alternativos como los sorbentes elaborados a partir de residuos agrícolas se exploran cada vez más como una solución de bajo costo y amigable con el medio ambiente. Uno de los residuos que puede emplearse como alternativa para este proceso es la cidra (*Sechium edule* (Jacq.) Sw), dado su bajo costo, disponibilidad y composición. Por esto, el presente estudio se enfocó en la elaboración de un sorbente utilizando residuos de cidra para la remoción de plomo, evaluando el pH del medio y tamaño de partícula, así como la cinética y la aplicación del sorbente en una muestra de agua contaminada. Como resultados, se obtuvo una remoción del 97.24 % en la que por espectroscopía infrarroja (FTIR) se evidenció una disminución y ligeros desplazamiento en los picos característicos de los grupos funcionales (OH y COOH), lo cual sugiere su participación en la remoción. Este comportamiento se refuerza con el análisis del potencial Z en distintos valores de pH (4, 5 y 6), pasando de un valor de  $-5.7$  mV a  $-1.7$  mV. Las condiciones óptimas para el proceso se establecieron en pH de 4.8, tamaño de partícula de 150-75  $\mu\text{m}$  y cantidad de sorbente de 1 g. El estudio cinético y de los modelos de isotermas reveló un ajuste al modelo de pseudosegundo orden y a la isoterma de Redlich-Peterson con un tiempo de equilibrio a los 30 min

y con un mecanismo monocapa. El estudio termodinámico reveló que el proceso es endotérmico y las interacciones son de tipo físico, como lo indica la entalpía de 1.95 kJ/mol. La energía libre de Gibbs mostró que el proceso es espontáneo en todas las temperaturas evaluadas. Finalmente, al aplicar el sorbente en una muestra de agua contaminada, se obtuvo una remoción del 84.68 %; además, se detectó la remoción de otros metales pesados como el cadmio y el manganeso (67.27 % y 48.22 % respectivamente); mientras que el litio, el zinc y el sodio mostraron reducciones por debajo del 10 %. Las concentraciones registradas cumplieron con la Resolución 0631 de 2015 para el vertimiento de aguas superficiales, indicando que la cidra podría ser considerada una alternativa en la remoción de plomo.

*Palabras clave:* sorbente, cidra, remediación, plomo, adsorción.

---

## Análisis de tendencias en ingeniería química

El 2025 abrió con señales mixtas para la química mundial: crecimiento moderado, demanda aún frágil en economías avanzadas y reacomodo de inventarios; así como desplazamiento competitivo hacia baja huella, flexibilidad y diferenciación. Las proyecciones industriales anticiparon una expansión global más lenta en 2025 que en 2024, mientras los márgenes seguían presionados por costos energéticos y sobrecapacidad en algunos segmentos. Entre tanto, en América Latina, el contexto macro previó crecimiento del producto interno bruto regional cercano al 2.0% y una inversión extranjera directa que repuntó en 2024 pero con disparidad entre países.

Los siguientes trabajos presentan panoramas de apertura para priorizar capacidades que mueven la intensificación y escalamiento de procesos, la economía circular con trazabilidad, la inteligencia artificial aplicada a la operación, el diseño con análisis de ciclo de vida y finanzas integrados y el desarrollo de especialidades, a fin de convertir tendencias en proyectos bancables y desempeño medible en plantas de Colombia y Latinoamérica.

## Estudio termoquímico de componentes cosméticos verdes utilizando Aspen Plus

*Mariana Pérez González, Valentina De la Rosa Murillo, Jeffrey León-Pulido*

Universidad Ean

mperezg89974@universidadean.ean.edu.co,

vdelaro48299@universidadean.edu.co, jleonp@universidadean.edu.co

### Resumen

El desarrollo de cosméticos sostenibles basado en ingredientes naturales y subproductos agroindustriales requiere un entendimiento detallado de sus propiedades termoquímicas para garantizar eficiencia, seguridad y viabilidad en procesos industriales. Este estudio realiza un abordaje termoquímico de componentes convencionales en cosméticos verdes mediante el uso de Aspen Plus®, que simula y analiza el comportamiento de estos ingredientes bajo diferentes condiciones de operación. Son estimados y organizados datos fisicoquímicos clave de aceites esenciales, alcoholes naturales, ésteres, ceras y otros biocomponentes comúnmente utilizados en formulaciones cosméticas sostenibles. Estos datos se integran a modelos de simulación para evaluar propiedades como capacidad calorífica, entalpías de formación, volatilidad, curvas de destilación y comportamiento en mezclas multicomponente. El estudio contempla la identificación de riesgos potenciales asociados a la generación de vapores inflamables o inestabilidades térmicas para el diseño seguro de procesos. Finalmente, se generará un estudio relacionado con puntos azeotrópicos y propiedades de mezcla.

*Palabras clave:* cosmética verde, química verde, propiedades termoquímicas, simulación en Aspen Plus, seguridad en procesos.

---

## Transformación de la ingeniería química: la economía circular como herramienta en mipymes colombianas

*José Alejandro Martínez S.*

Universidad Ean  
jamartinez@universidadean.edu.co

### Resumen

La economía circular se ha convertido en un enfoque fundamental para la transformación de las micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes) en Colombia, especialmente en el sector de la ingeniería química. Se presenta un análisis exhaustivo de cómo la implementación de estrategias circulares, en el marco del programa ECOS 2.0, puede mejorar la competitividad y sostenibilidad de las mipymes colombianas. A través de un diagnóstico integral basado en el EAN Sustainability Index, se evaluaron aspectos financieros, ambientales y sociales en 78 empresas de toda Colombia. Los resultados revelan que aun cuando estas mipymes han comenzado a adoptar prácticas circulares, como el aprovechamiento de residuos, bioeconomía, eficiencia de energía y optimización de procesos, persisten desafíos significativos. Estos incluyen la falta de financiamiento adecuado, el acceso limitado a tecnologías innovadoras y la necesidad de incentivos regulatorios que faciliten su transición hacia modelos más sostenibles. La investigación destaca cómo pueden aplicarse los principios de química verde para mejorar la eficiencia en el uso de recursos y minimizar el impacto ambiental. Metodológicamente, se utilizó un enfoque mixto que combinó análisis cualitativos y cuantitativos, incluyendo entrevistas con empresarios y revisión documental. Esta triangulación permitió identificar barreras específicas y formular recomendaciones para facilitar la adopción de tecnologías limpias y procesos sostenibles. La ponencia propone un marco de referencia que integra la economía circular en las prácticas de ingeniería química dentro

de las mipymes, enfatizando el papel crucial de la innovación en materiales y procesos químicos sostenibles. Además, se presentan estrategias para mejorar la colaboración entre el sector productivo, la academia y las entidades gubernamentales, lo que es esencial para escalar estas iniciativas. Los hallazgos no solo contribuyen a una mejor comprensión de cómo la economía circular puede transformar las prácticas empresariales en Colombia, sino que también ofrecen insumos valiosos para el diseño de políticas públicas que promuevan una industria más sostenible y competitiva.

*Palabras clave:* economía circular, ingeniería química, sostenibilidad, innovación empresarial.

---

## Desarrollo de un marcador molecular para trazar una gasolina comercial

*José Felipe Sánchez Minero, Job Rafael Rubio*

*Argüelles, Gilberto Alonso Ramírez*

Instituto Politécnico Nacional

jfsanchezm@ipn.mx, jobmail3@gmail.com, galonsor@ipn.mx

### Resumen

Se evaluó el 2-fenil-fenol (bifenol) como marcador molecular de una gasolina comercial, utilizando el cromatógrafo de gases portátil Torion T9, el cual tiene acoplada la herramienta de espectrometría de masas (GC-MS) que permite evaluar combustibles en un tiempo corto de hasta 300 segundos. En primera instancia se evaluaron 10 gasolinas de calidad regular y 10 gasolinas de calidad premium, provenientes de las 10 marcas que más se comercializan en el territorio nacional, incluyendo las estaciones de Petróleos Mexicanos. Posteriormente, se incorporó el bifenol a dichas gasolinas para observar su respuesta como marcador molecular y se encontró que dicha

molécula no interfiere con otros compuestos de la gasolina y puede ser incorporada al combustible hasta una concentración mínima de 50 ppm. El efecto de la temperatura sobre el bifenol muestra que dicho compuesto puede sufrir una degradación cuando la temperatura del medio es menor a 20 °C.

*Palabras clave:* marcador, gasolina, bifenol, cromatografía.

---

## IQuyca 3.0

### IQuyca: plataforma pionera de estímulo al emprendimiento en ingeniería química

En el panorama de la ingeniería química en Colombia, caracterizado históricamente por su enfoque técnico y operativo, surge una iniciativa que redefine la manera de entender el papel del ingeniero químico en el desarrollo del país. IQuyca —inspirada en la palabra muisca *quyca*, que significa *mundo* o *tierra*— no es una actividad, sino una plataforma de estímulo al emprendimiento y la innovación creada para visibilizar, potenciar y conectar las capacidades creativas y tecnológicas de los ingenieros químicos con las necesidades reales de la industria, la sociedad y el entorno.

Gestada por la Universidad Ean en alianza con la Asociación Colombiana de Ingenieros Químicos (ACIQ), seccional Bogotá, esta plataforma busca cerrar la brecha entre la educación formal, la investigación, el mercado y la práctica profesional, posicionando la ingeniería química como una disciplina estratégica para la sostenibilidad, la productividad y la transformación industrial del país.

## Una plataforma con propósito

IQuyca nace con el objetivo de estimular el espíritu innovador y emprendedor en la ingeniería química, mediante la participación de equipos que presenten prototipos o productos ya desarrollados o en fase de validación, basados en conocimientos, procesos o tecnologías de la disciplina.

Más que promover la creación de emprendimientos desde cero, la plataforma potencia y da visibilidad a proyectos existentes, ayudándolos a consolidarse y conectarse con mentores, expertos y posibles aliados. En palabras de sus organizadores, IQuyca busca acercar la ingeniería química a escenarios de reconocimiento y participación en innovación, transferencia y competitividad, articulando la academia y la industria.

Cada ciclo de IQuyca se integra dentro del Congreso Colombiano de Ingeniería Química, pero mantiene su propia identidad: no es un evento académico, sino una experiencia de aprendizaje, validación y exposición, que premia la capacidad de transformar el conocimiento técnico en soluciones reales con impacto.

## Estructura y filosofía: el camino de la innovación

La estructura de IQuyca se inspira en símbolos de la cultura muisca, esto es, representa un recorrido desde la idea hasta la validación pública del prototipo:

*Ieta* (vientre, lugar de gestación): el equipo postula su prototipo o producto con base en criterios técnicos y de mercado.

*Mohán* (guardián mítico): expertos en ingeniería química evalúan los proyectos según su innovación, pertinencia y aplicabilidad.

*Jurgunero* (activar la candela): los finalistas presentan su propuesta ante un panel de expertos y la comunidad.

*Ata* (número uno): se realiza la votación y reconocimiento al prototipo más destacado.

Cada fase combina evaluación técnica, validación de mercado y visibilidad pública, construyendo un proceso de aprendizaje real que transforma ideas en oportunidades tangibles.

## Valor agregado: una experiencia de crecimiento

La propuesta de valor de IQuyca se centra en el aprendizaje activo y la exposición de talento. Sus participantes experimentan:

- Un proceso de innovación guiado, donde aprenden sobre desarrollo tecnológico, validación de mercado y comunicación de valor.
- Vinculación con mentores y expertos, que ofrecen retroalimentación especializada.
- Visibilidad nacional, al presentar sus proyectos ante una comunidad de ingenieros, empresarios y académicos.
- Reconocimiento profesional, que impulsa la carrera de los participantes dentro del sector.

Aunque el proceso no tiene un premio económico, la ganancia principal es la proyección profesional y el acceso a redes estratégicas, un factor clave para quienes desean transformar conocimiento en impacto.

## Impacto y legado para la ingeniería química colombiana

IQuyca representa un cambio de paradigma en la ingeniería química nacional. Su impacto se expresa en tres dimensiones principales:

- Cultural: impulsa una nueva mentalidad en los ingenieros químicos, promoviendo la creatividad, la interdisciplinariedad y la vocación emprendedora.
- Académica: fortalece la formación con competencias de innovación y transferencia tecnológica, alineadas con las demandas del siglo XXI.
- Productiva: conecta la ingeniería química con sectores industriales emergentes —energías limpias, economía circular, biotecnología, materiales avanzados o alimentos sostenibles— y estimula la generación de soluciones aplicadas.

Gracias a la visión conjunta de la Universidad Ean y la ACIQ Bogotá, IQuyca se consolida como un modelo pionero de articulación universidad-empresa-sociedad que abre nuevas rutas para el desarrollo del talento químico-industrial colombiano.

### Iteración IQuyca 3.0

IQuyca 3.0 repitió y fortaleció su estructura simbólica basada en la cosmogonía muisca:

*Ieta* (vientre): postulación y validación técnica de los prototipos.

*Mohán* (guardián del tesoro): evaluación de los proyectos por expertos en inversión, mercadeo, sostenibilidad e industria.

*Jurgunero* (avivar la llama): presentación pública de los prototipos ante el panel y la comunidad.

*Ata* (número uno): votación y premiación final

De ocho emprendimientos postulados, cinco superaron la etapa Ieta y tres avanzaron a las fases Mohán y Jurgunero, donde fueron expuestos ante el jurado y el público del congreso.

El panel de expertos —Karina Solano (academia), Fabio López (industria), David Martínez (gobierno), Carlos Negro y Carlos Cruz (inversión y marketing)— ofreció

retroalimentación técnica y estratégica, consolidando la visión de IQyca como un ecosistema de aprendizaje aplicado

## Los emprendimientos de IQyca 3.0

### *Merak Beersshake. Cerveza artesanal y malteadas de frutas*

Origen: Bogotá D. C.

Fundadores: Nicolás Lozano y equipo.

Merak Beersshake surgió durante la pandemia como una propuesta para **fusionar la cultura cervecera artesanal con la innovación sensorial y el enfoque ambiental**. Ofrece cervezas y malteadas elaboradas con frutas locales, buscando generar experiencias sostenibles, creativas y socialmente responsables.

### *EcoAgua. Coagulante biodegradable para tratamiento de aguas*

Origen: Bogotá.

Representante: Beatriz Arteaga.

EcoAgua integra ciencia, sostenibilidad y emprendimiento para crear un **coagulante vegetal y biodegradable** a base de semillas de moringa, almidón de papa y fríjol. Su objetivo es **mejorar el acceso a agua limpia en comunidades vulnerables** mediante procesos de tratamiento más seguros y económicos, promoviendo la economía circular y el uso de recursos locales.

### **Sierra Dorada. Cervecería artesanal de Zipaquirá**

Origen: Zipaquirá, Cundinamarca.  
Fundador: Carlos Madero.

Inspirada en la cultura muisca, Sierra Dorada combina tradición ancestral e ingredientes locales para crear cervezas únicas tipo Sour, APA y Stout. Cada línea homenajea figuras indígenas y la conexión con la tierra, representando una propuesta de valor que une identidad cultural y sabor de autor.

### **Wajiira Beer Company. Cervezas étnicas de La Guajira**

Origen: Uribia, La Guajira.  
Fundador: Hernán Romero.

Wajiira Beer Company representa la identidad wayuu a través de cervezas naturales y sin filtrar que honran la diversidad del territorio. Ofrece variedades rubia, trigueña, cítrica y negra, contribuyendo al desarrollo regional y al reconocimiento de la cultura local.

### **Sampuí. Aguardiente prémium de caña flecha**

Origen: Sucre.  
Fundador: Carlos Tapia.

Sampuí presenta un aguardiente prémium sin azúcar, con un 24 % de alcohol y notas de vainilla, coco y cacao. Destaca por su botella decorada con caña flecha y por ser una bebida más ligera y artesanal que las tradicionales, reflejando la riqueza cultural sucreña y la innovación en destilados colombianos.

## Evaluación y premiación

En tiempo real, el público y el panel de expertos evaluaron los emprendimientos durante la fase Ata, mediante la plataforma Mentimeter. El proyecto ganador obtuvo la Beca EADA Business School, desde el liderazgo de Daniel Puyol. Esta beca de estudio se valora en 850 euros y cuenta con el apoyo del Consultorio de Emprendimiento Sostenible de la Universidad Ean. En esta ocasión, el ganador fue Sampuí (aguardiente premium de caña flecha). El segundo lugar fue para EcoAgua (coagulante biodegradable para tratamiento de agua) con una beca programa de aceleración IMPACTA Universidad Ean. Y el tercer lugar correspondió a Sierra Dorada (cervecería artesanal de Zipaquirá), con un reconocimiento desde la Gerencia de Investigación y Transferencia. Todos los participantes fueron reconocidos por su aporte a la innovación desde la ingeniería química.

Un agradecimiento especial a los expertos

Línea	Nombre
Empresario	Fabio López
Especialista en la temática-academia	Karina Solano Meza
Fondo de inversión público y privado	Carlos Manuel Negro Álvarez
Especialista en <i>marketing</i>	Carlos Cruz Forero
Gobierno	David Martínez Consuegra
Academia	Paola Andrea Acevedo Pabón
Empresa	Brayaham Villa

## Conclusiones de las memorias

Este libro de memorias nació con una intención clara: demostrar que la ingeniería química, en diálogo con la biotecnología, los materiales, la energía, el agua, la digitalización y la gestión, tiene las respuestas técnicas y humanas para construir un futuro resiliente y regenerativo en Colombia y América Latina. A lo largo de los capítulos, vimos cómo la disciplina se reinventa: innova procesos, reduce huellas ambientales, convierte residuos en recursos, automatiza con criterio y fortalece la seguridad como valor no negociable. También comprobamos que el conocimiento cobra sentido cuando se traduce en decisiones de planta, proyectos bancables y beneficios tangibles para las comunidades y los ecosistemas. De estas páginas emergen cinco certezas:

1. La sostenibilidad es ingeniería aplicada. No es un anexo, sino el modo en que diseñamos equipos, integramos calor y masa, escogemos materias primas, controlamos emisiones y cerramos ciclos de agua y materiales.
2. La competitividad se juega en la operación. Menos variabilidad, más disponibilidad, consumo específico menor y calidad “a la primera” son el núcleo del valor. La fábrica inteligente y el análisis de datos sirven en la medida en que resuelven estos retos concretos.
3. La seguridad y la ética sostienen la licencia para operar. Personas preparadas, instalaciones íntegras y decisiones

transparentes construyen confianza con trabajadores, vecinos, autoridades y clientes.

4. La colaboración acorta la ruta del laboratorio a la planta. Universidades, centros, empresas y Estado avanzan más rápido cuando comparten problemas reales, datos y riesgos, y cuando miden resultados con reglas claras.
5. La formación es el puente. Currículos que integran fundamentos con sostenibilidad, digital, seguridad y criterio ético preparan talento capaz de decidir bien bajo incertidumbre.

