

Libro de resúmenes

# Industria 4.0: procesos y operaciones inteligentes en ingeniería química

## Edición y compilación

Facultad de Ingeniería, Universidad Ean

Jeffrey León Pulido, Ph. D.

Lilia Carolina Rojas Pérez, Ph. D.

Edna Lizeth Pulido Arias, IQ.

Departamento de Ingeniería Química y Ambiental,  
Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

Jairo Ernesto Perilla Perilla, Ph. D.



Consejo Profesional  
de Ingeniería Química de Colombia

**Catalogación en la fuente: Biblioteca Universidad EAN**

Ramírez Cuadro, Néstor Eduardo

Industria 4.0 : procesos y operaciones inteligentes en ingeniería química / Néstor Eduardo Ramírez Cuadro y Geraldine Gómez ; editado y compilado por Jeffrey León Pulido, Lilia Carolina Rojas Pérez, Edna Lizeth Pulido Arias, Jairo Ernesto Perilla Perilla.

Descripción: 1a edición / Bogotá: Universidad Ean, 2023.

199 páginas

eISBN: 9789587567014

1. Tecnología química 2. Diseño asistido por computador 3. Aptitud creadora en tecnología 4. Ingeniería sostenible 5. Transición ecológica 6. Industrias - Innovaciones tecnológicas

I. Gómez, Geraldine II. León Pulido, Jeffrey (editor y compilador)

III. Rojas Pérez, Lilia Carolina (editor y compilador) IV. Pulido Arias, Edna Lizeth (editor y compilador)

V. Perilla Perilla, Jairo Ernesto (editor y compilador)

660.28 CDD23

Edición: Gerencia de Investigación y Transferencia

Gerente de Investigación y Transferencia (e): William S. Fajardo M.

Coordinadora de Publicaciones: Irina Florián Ortiz

Corrección de estilo: Hernando Sierra

Diseño: Precolombi EU, David Reyes

Diagramación: Mónica Cabiativa Daza

Publicado por Ediciones Ean, 2023.

© Todos los derechos reservados.

© Universidad Ean, El Nogal: Calle 79 # 11-45

Bogotá D.C., Colombia, Suramérica, 2023

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

# Industria 4.0:

---

## procesos y operaciones inteligentes en ingeniería química

---

# Contenido

---

13

## Introducción

15

## I. Ciencia de los materiales y biomateriales

- 16 Potencial tolerante y de degradación del hongo de podredumbre blanca sobre llantas usadas
- 18 Dinámica molecular aplicada al cátodo de baterías Li-S para la mitigación de la difusividad de polisulfuros en el efecto shuttle
- 20 Fabricación de un filtro a base de piedra pómez impregnado con un catalizador de óxido de cerio y zinc, sintetizados por el método de coprecipitación empleando  $Ce(NO_3)_3$ ,  $6H_2O$  y  $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$
- 22 Reforzamiento de películas de almidón termoplástico con aceite epoxidado de soya
- 24 Síntesis y caracterización de un poliglicerol modificado con poli (ácido cítrico-glicerol) para su uso como agente dispersante
- 26 Influencia del tamaño de partícula en la primera etapa de formación de película para dispersiones poliméricas acuosas: perfil horizontal de secado

- 28 Influencia del tamaño de partícula en la primera etapa de formación de película para dispersiones poliméricas acuosas: perfil vertical de secado
- 30 Uso de herramientas computacionales para el diseño de nuevas moléculas del tipo heterociclo fano en materiales optoelectrónicos, basados en cumarinas y tiofeno
- 32 Producción biotecnológica de ácido láctico a partir del lactosuero aplicado a la síntesis de ácido poliláctico
- 34 Implementación de la técnica de impregnación para la síntesis de materiales de cátodos de celda SOFC de alta eficiencia
- 36 La industria del cacao como fuente de fibra celulósica
- 37 Modificación de poliéster insaturado utilizando fibras de nanocelulosa mediante poliesterificación *in situ*
- 39 Extração de uma lignina *Organosolv* da biomassa de açai (*Euterpe oleracea*)
- 41 Corrosion study of API N-80 carbon steel under steam-flue gas co-injection as an enhanced recovery method (EOR).
- 42 Evaluación de residuos agroindustriales para su valoración como materia prima potencial de fibra celulósica y su utilización en la industria papelera

## 44

### II. Alimentos, bioingeniería, farmacéutica y cosmética

- 46 Cinética de la producción de galactooligosacáridos (GOS) con dos  $\beta$ -galactosidasas combinadas: **modelo** matemático y efectos de materia prima
- 47 Extracción de un colorante natural a partir de la semilla de aguacate *Persea americana* y su aplicación en la industria cosmética

- 50 Producción y purificación de vesículas de membrana externa producidas por una cepa hipervesiculante de *Escherichia coli*
- 51 Physicochemical and functional characterization of the yellow pitaya (*Selenicereus megalanthus*)
- 52 Caracterización fisicoquímica del almidón de la achira (*Canna edulis ker*) con relación al almidón de yuca (*Manihot esculenta crantz*)
- 55 Análisis de las características físicas de las cáscaras de frutas como residuo valorizable
- 56 Evaluación de las características físicas de semillas de frutas como residuos aprovechables
- 58 Determination of suitable thin-layer drying models for noni (*Morinda citrifolia L.*)
- 59 Reaction kinetics between *Moringa* leaf extracts and DPPH free radical
- 60 Potencial biotecnológico de cepas *Saccharomyces cerevisiae* colombianas para la producción de alcoholes usando hidrolizados lignocelulósicos
- 61 Evaluación de la fermentación láctica aplicada a la obtención de una base para productos probióticos a partir de frijol caupí (*Vigna unguiculata*)
- 63 Producción de biomasa con *Candida sorboxilosa*, a partir de mucílago fermentado de café, utilizando el diseño Plackett-Burman
- 65 Starches from Potatoes Surplus: Effect of the Application of High Shear Homogenization Treatments
- 66 Modelamiento molecular aplicado a la cinética de degradación de contaminantes orgánicos mediante el proceso de foto Fenton
- 68 Valorization of Potato Processing By-products (Peels and Bagasse) by Its Transformation into Powdered Ingredients for Food Applications

- 69 Oportunidades de la ingeniería química en el desarrollo de insumos agropecuarios, con énfasis en bioinsumos

### **III. Simulación de procesos y diseño asistido por computadora (CAD)**

- 73 Prefactibilidad técnica, económica y ambiental del aprovechamiento energético de la cáscara de coco
- 75 Simulation of a continuous fluidised bed dryer for paddy grain
- 76 Evaluación de la transferencia de masa de un colorante e intensidad de radiación en un reactor foto electrocatalítico: una aproximación computacional
- 78 Mejoras de desempeño de proceso de polimerización a través del diseño óptimo y el control avanzado
- 80 Simulación dinámica de la adsorción de iones cromo (VI) en columna de lecho empacado con mesocarpio de cacao
- 81 Multiplicidades y mínimo consumo de energía en la producción de bioetanol por destilación extractiva utilizando etilenglicol como solvente
- 84 Estudio del consumo energético de una línea de producción alternativa de antisépticos, en respuesta a la condición de pandemia covid-19
- 85 Güecha: herramienta digital pedagógica para el conocimiento de explosivos
- 87 Estudio asistido por computadora de componentes y tamaño de mercado de la cachaza en la industria panelera
- 88 Análisis de propiedades termoquímicas de la quitina a partir del exoesqueleto de camarón asistido por computadora
- 89 Estudio del potencial de impacto ambiental en la producción de quitina a partir de exoesqueletos de camarón

- 90 Estudio del potencial del impacto ambiental de una planta de procesamiento de cáñamo en la industria de cannabis
- 91 Estudio de levaduras aplicadas a fermentaciones alcohólicas: caso de estudio batata (*Ipomea batata*)
- 93 Estudio de emisiones en el proceso de polimerización de HDPE usando Aspen Plus
- 94 Thermochemical, Thermophysical And Transport Properties Analysis For The Nylon 6 Polymerization Processes Using Aspen Plus

## 95

### IV. Diseño e innovación en procesos y/o productos

- 96 Evaluación técnica y económica de la fabricación de detergente retenedor de tinta para textiles
- 98 Evaluación de diferentes métodos de separación y purificación de almidón de ñame *Dioscorea sp.*
- 100 Separación de la mezcla etanol-agua usando un sistema híbrido de destilación-pervaporación
- 101 Prefactibilidad técnica y económica de la producción de galactooligosacáridos (GOS) y derivados a partir de lactosuero dulce
- 102 Evaluación del desempeño en un filtro de bioarena modificado con arena sílice ( $\text{SiO}_2$ ) en la reducción de turbidez y coliformes
- 104 Estudio exploratorio de la obtención de biolubricantes a a partir de biodiésel del sebo bovino
- 106 Acondicionamiento de las grasas animales (sebo bovino) para la obtención de productos de mayor valor agregado (biodiésel o biolubricantes)
- 108 Peelable Temporal Coatings: Surface protection and decoration.
- 110 Antioxidantes en la extrusión de harina de papa morada (*Solanum tuberosum L. var. Vitelotte*) y aguaymanto (*Physalis peruviana L.*)

- 112 Optimización económica de los sustratos usados en la producción de péptidos antimicrobianos en fermentación sumergida por lotes de *Brevibacillus sp.* PNM157
- 113 Desarrollo de prototipo bioinspirado de vehículo propulsado por reacciones químicas
- 114 Acondicionamiento de un sistema de agitación neumática para fabricar productos a base de peróxido de hidrógeno
- 116 Deshidratación electrostática de crudo, del microscopio a escala banco, sin química deshidratante
- 117 Efecto de la aplicación de microondas en la deshidratación de crudo pesado y extrapesado
- 119 *Benchmarking* de bebidas fermentadas artesanales en Latam
- 120 Estudio de bebidas fermentadas especiales con sabores cítricos colombianos
- 122 Diseño de una planta de fabricación de ladrillos a partir de cenizas de bagazo

## 124 V. Ciencia de datos y análisis experimental

- 126 Aplicación de extractos naturales como inhibidores de corrosión, a partir del estudio de los diferentes métodos de obtención
- 128 Ciencia de datos aplicada a procesos en la industria química
- 129 Determinación de una plataforma de gestión documental para la clasificación de ensayos clínicos en Atalanta Science and Technology S. A. S.

## 131 VI. Economía circular y sostenibilidad

- 132 Evaluación de aplicación de biochar proveniente de residuos agroindustriales mediante un modelo matemático de interacción de nutrientes en el suelo

- 134 Producción de biodiésel, usando una mezcla oleosa de RBD y AUC con un catalizador residual de cenizas de cáscara de limón
- 136 Extracción de un pigmento obtenido desde la fase madura del exocarpio del café y su uso en serigrafía textil
- 138 Obtención de nuevos agentes antifúngicos contra *Fusarium oxysporum*, basados en quitosano a partir de residuos del exoesqueleto de carídeos
- 140 Analysis of the potential of lycopene and dietary fiber from a by-product of organic tomato processing as ingredients in functional food formulations
- 142 Efecto de la temperatura, donador de H<sub>2</sub> y concentración de catalizador en la licuefacción hidrotermal de bagazo de caña
- 143 Potential of Soybean Straw for Lignin Solubilization
- 145 *Benchmarking* del mercado para la formación de aceites esenciales a partir de cannabis medicinal
- 146 Reaproveitamento da Água na Desidratação de Frutas como Estratégia de Compensação na Pegada Hídrica
- 147 *Benchmarking* del mercado de quitina y quitosano en Latinoamérica

## 149 VII. Petróleo y gas, minería y energías alternativas

- 150 Kinetic parameters determination by pyrolysis of biomass using bio-inspired optimization algorithm
- 152 Evaluación técnica y económica de la producción de biodiésel a partir de aceite usado de cocina en Colombia
- 154 Diseño preliminar de la etapa de remoción de ácidos grasos libres en la producción de biodiésel de aceite de palma
- 155 *Eichhornia crassipes* contaminada con mercurio como un generador de biogás

- 157 Detección de intermediarios de oxidación de alcohol bencílico catalizado por óxidos metálicos en modo operando
- 160 Determination of Crude Oil Viscosity by Rheological Models for Optimization in Separation Processes
- 162 Shale oil as a Viable Substitute for Crude Oil in an Atmospheric Distillation Unit

## 164 VIII. Medio ambiente y cambio climático

- 165 *Achromobacter deleyi* IL8, una alternativa para el mejoramiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria farmacéutica
- 167 Análisis del desempeño ambiental del proceso de producción de biohidrógeno a partir de la fermentación de residuos sólidos orgánicos de origen urbano
- 169 Análisis de ciclo de vida comparativo del aprovechamiento energético de semillas de aguacate: pirólisis y combustión
- 170 Mercurio en suelos bajo influencia de la minería aurífera en el departamento de Bolívar, Colombia
- 172 Determinación de agentes eutrofizadores en aguas y microplásticos en lodos del caño
- 174 Efecto del pH sobre la adsorción de azul de metileno usando adsorbentes preparados a partir de origen agroindustrial
- 176 Preparación y caracterización de adsorbentes modificados químicamente para su uso en tratamiento de aguas
- 178 Metodología para la preparación de biocompuestos a partir de fibras vegetales modificados con polímeros biodegradables
- 180 Estudio del equilibrio de la adsorción de cromo (VI) sobre aserrín de *Cedrela odorata*

- 182 Evaluación del tiempo de depósito para  $\text{TiO}_2$  Comercial y  $\text{TiO}_2$  Aeroxide®P25 en fotoánodos para la degradación fotoelectrocatalítica de rojo reactivo 329
- 184 Development Of Catalytic Processes For The Elimination Of Volatile Organic Compounds With Mn-Zeolites
- 186 Degradación fotocatalítica de esporas del hongo fitopatógeno *Fusarium oxysporum f.sp. dianthi* con películas de  $\text{TiO}_2$ -ZnO utilizando luz visible
- 188 Estudio de gases de efecto invernadero (GEI) asociados al procesamiento de frutas y verduras

## 190 IX. Inclusión, género y educación en la ingeniería

- 192 Desarrollo de un simulador de control automático de procesos como herramienta de apoyo en espacios virtuales de enseñanza-aprendizaje
- 193 Internacionalización en el currículo de Ingeniería Química y Biotecnología, a partir del aprendizaje basado en proyectos (ABP)

## 195 IQUYCA 2.0

- 198 Conclusiones
- 199 Agradecimientos

# Introducción

La ingeniería química colombiana está en constante desarrollo, la implementación de nuevas tecnologías y estrategias para el mejor uso de los recursos como la energía y materias primas han generado una nueva forma de realizar los procedimientos, y con esto la innovación de distintos procesos y bioprocesos. La industria 4.0 y la ingeniería química intersecta en un horizonte de innovación, integrando las mejoras de procesos, generando operaciones inteligentes y planteando así avances tecnológicos como transformación radical en la forma en que se conciben, diseñan y ejecutan los procesos químicos, la transformación de materias primas, la fabricación, el monitoreo, la cadena de suministros, entre otros.

En conjunto con la tecnología, la ingeniería química incorpora el uso de simulaciones que puedan aportar información, que conjugadas con la era de la industria 4.0 permiten redefinir los parámetros tradicionales de eficiencia y calidad. En este nuevo contexto de la ingeniería, se plantean fábricas inteligentes, en donde sistemas interconectados pueden facilitar la toma de decisiones soportados en análisis de datos avanzados.

Este libro compila 101 resúmenes de investigaciones clasificadas en las siguientes líneas temáticas, evidenciando

que este nuevo paradigma muestra un panorama adaptable y flexible. Además de la fluidez entre la colaboración de seres humanos y máquinas, combinando el conocimiento convencional y esta revolución tecnológica que visiona en los datos un factor fundamental para garantizar la integridad de las operaciones, la vanguardia operativa y el aprovechamiento de las capacidades de la industria 4.0. Los ejes de compilados son presentados a continuación:

1. Ciencia de los materiales y biomateriales.
2. Alimentos, bioingeniería, farmacéutica y cosmética.
3. Simulación de procesos y *computer aided design* (CAD).
4. Diseño e innovación en procesos y/o productos.
5. Ciencia de datos y análisis experimental.
6. Economía circular y sostenibilidad.
7. *Oil & gas*, minería y energías alternativas.
8. Medio ambiente y cambio climático.
9. Inclusión, género y educación en ingeniería.

Además, el libro presenta una serie de 3 emprendimientos gestados desde la ingeniería química, presentados en el IQUYCA 2.0, este es un espacio intensivo de innovación, soportado en la estructura *kick-off*. En este espacio en particular, se invita a ingenieros químicos (con tarjeta profesional) y/o estudiantes de ingeniería química a participar de un proceso de construcción, relacionamiento y apalancamiento de emprendimientos que cuenten con un prototipo validado o producto desarrollado, dispuestos a ser lanzados frente a expertos en inversión, *marketing*, emprendimiento, industria y academia. En los siguientes capítulos se presentan los resultados más relevantes de las investigaciones realizadas por 19 instituciones colombianas y cooperaciones internacionales, así como las contribuciones científicas de numerosas empresas colombianas.

## Ciencia de los materiales y biomateriales

La ciencia de los materiales es una disciplina de la ingeniería que se enfoca en el estudio de la estructura, propiedades y comportamiento de los materiales. Estos materiales pueden ser metales, cerámicas, polímeros, vidrios, compuestos, entre otros. La caracterización de materiales y biomateriales es un proceso crucial para avanzar en el desarrollo de nuevos productos y soluciones prácticas en distintos campos del conocimiento. A través de una aproximación interdisciplinaria, se trabaja en la construcción, control, realización o implantación de estos materiales en aplicaciones médicas, industriales, electrónicas, entre otras. La ciencia de los materiales se encarga de clasificar y relacionar los materiales de acuerdo con sus propiedades, estructura, procesamiento y diseño, con el objetivo de optimizar e innovar su funcionalidad en diferentes contextos. Para ello, se utilizan técnicas avanzadas de análisis y caracterización de materiales, como microscopía electrónica, difracción de rayos X, espectroscopía de infrarrojo y técnicas de ensayo mecánico, entre otras. En cuanto al sector de los biomateriales, su principal objetivo es proporcionar una alternativa segura,

fisiológicamente aceptable y económica que pueda interactuar con sistemas biológicos con distintas finalidades, como en el caso de las prótesis, implantes, materiales de sutura, etc. Los materiales usados en la creación de biomateriales incluyen plásticos, cerámicas, vidrio, tejido vivo y metales, y deben ser seleccionados cuidadosamente para garantizar su biocompatibilidad y evitar una respuesta inmune negativa del cuerpo. La ciencia de los materiales y los biomateriales se complementan y se apoyan mutuamente, ya que comparten muchos objetivos y métodos de investigación. Ambas disciplinas buscan mejorar la calidad de vida humana a través del diseño y desarrollo de materiales innovadores y seguros.

## Potencial tolerante y de degradación del hongo de podredumbre blanca sobre llantas usadas

*Néstor Eduardo Ramírez Cuadro, Jefferson Arturo Teherán,  
José Daniel Marín Batista, Juliana Puello Méndez\**

Grupo de Investigación en Ciencias de la Ingeniería - GICI, Programa de Ingeniería Química, Universidad de San Buenaventura, Cartagena, diagonal 32 # 30-96, Cartagena de Indias, Bolívar, Colombia

*\*jpuello@usbctg.edu.co*

### Resumen

Las llantas para vehículos constituyen insumos de alta demanda en el sector del transporte, sin embargo, al finalizar su vida útil se tornan en un problema técnico, económico, ambiental y de salud pública, debido a su estructura compleja formada por diversos materiales, especialmente el caucho vulcanizado. Una posible forma de mitigar el impacto ambiental de las llantas de desecho consiste en degradar el caucho mediante una acción enzimática de hongos.

El presente estudio se realizó para evaluar el potencial de degradación del caucho de llantas usadas mediante la acción enzimática de un hongo de podredumbre blanca. Inicialmente, se evaluó el efecto de la acción enzimática del hongo sobre las propiedades mecánicas, estructurales y químicas del caucho. Diferentes cortes esterilizados de llantas de 1 cm<sup>2</sup> fueron inoculados sobre la superficie del caucho. Luego de 45 días se evaluaron los cambios en la tensión, los cambios en la superficie mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), y variaciones en la estructura química mediante espectroscopía de infrarrojo con la transformada de Fourier (FTIR). Se observó la presencia de erosión en el material por ataque a sus enlaces moleculares. Posteriormente, se determinó el potencial de la llanta para producir biomasa fungi; para ello, se estudiaron 6 concentraciones de polvo de llanta (2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 mg/L) las cuales fueron inoculadas con micelios del hongo en Agar Sabouraud. Luego de 21 días, la biomasa germinada en cada concentración de sustrato fue analizada y modelada gravimétricamente. Como resultados se encontró una dependencia proporcional del crecimiento de la biomasa en función de la concentración del sustrato. Finalmente, se concluye que el hongo de la podredumbre blanca tiene potencial para degradar el caucho de las llantas usadas, por tanto, puede ser una opción viable para ayudar a su biodegradación.

*Palabras clave:* biodegradación de caucho, llantas usadas.

---

## Dinámica molecular aplicada al cátodo de baterías Li-S para la mitigación de la difusividad de polisulfuros en el efecto shuttle

*Mario Montes Garcés, Michael Ramírez  
Rodríguez, Juan Carlos Burgos Beltrán\**

Grupo de Investigación en Modelado Computacional - GruMoC, Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Piedra de Bolívar, avenida del Consulado, calle 30 # 39B-192, Cartagena, Colombia

\*mmontesg@unicartagena.edu.co

### Resumen

Las baterías recargables de alta densidad han recibido buena atención en los últimos años por sus aplicaciones potenciales como: vehículos eléctricos, integración de la generación renovable de electricidad, entre otras. Con la amenaza de escasez de combustibles fósiles y la contaminación continua al ambiente, el desarrollo de este tipo de dispositivos ha tomado mayor relevancia. Las baterías litio-azufre representan una alternativa de gran potencial debido a su alta capacidad específica teórica de  $1675 \text{ mAh} \cdot \text{g}^{-1}$  y energía específica de  $2600 \text{ Wh} \cdot \text{kg}^{-1}$ . A pesar de esto, en la práctica presentan bajos ciclos de vida, eficiencia y densidad energética, atribuido a la difusión de polisulfuros que genera el efecto *shuttle*. Para mitigarlo, el uso de óxidos en el cátodo ha logrado mejorar el rendimiento y ciclos de vida, pero acercándose solo al 18 % de la capacidad energética estimada.

Los estudios de estas baterías se han basado en pruebas experimentales en la estructura del cátodo, conllevando a costos elevados y que no permite la evaluación detallada del fenómeno. Ante dichas limitaciones, la dinámica molecular comprende un método viable para evaluar y obtener conocimientos del comportamiento de los polisulfuros en el medio electrolítico, como guía en la generación de soluciones a la problemática. Así, el presente estudio hace uso de la dinámica

molecular clásica con campos de fuerza empíricos especializados para líquidos orgánicos (OPLS-AA), parametrizados para polisulfuros y grafeno. Por ello, estas simulaciones no abarcaron reacciones de producción de polisulfuros.

La investigación se centró en el comportamiento de polisulfuros ( $Li_2S_n$ ,  $8 \geq n \geq 2$ ) en 1,3-dioxolano (DOL), que actúa como solvente en un medio electrolítico de baterías de Li-S. Se enfocó en identificar las condiciones de concentración de azufre y confinamiento del cátodo que permitieran reducir la difusividad de polisulfuros. Como resultado, se logró una reducción de su difusividad por medio del confinamiento intercalado del cátodo en todas las concentraciones evaluadas, en comparación con sistemas sin confinamiento. La dependencia de la difusividad a la concentración presentó un comportamiento no proporcional, logrando gran incidencia en concentraciones altamente insaturadas en referencia al  $Li_2S_6$ . Adicionalmente, el  $Li_2S_4$  siempre se destacó con la mayor difusividad entre los distintos tamaños de polisulfuro en cada concentración.

Finalmente, se determinó que la reducción de la difusividad de polisulfuros comprende un camino para suprimir el efecto *shuttle*. Dada su generación y transporte hacia el cátodo y ánodo en el proceso de descarga, la batería puede sufrir de resistencia a la carga o posible carga infinita. Por lo tanto, la construcción de baterías de Li-S con altas concentraciones de azufre y confinamiento intercalado del cátodo, permite mantener su eficiencia y estabilidad de los ciclos de vida útil. Asimismo, controlando los polisulfuros de cadena larga (primeros en generar) que se difunden más que los de cadena corta, permitiendo evitar la pérdida de material activo del cátodo, manteniendo así la densidad energética de la batería.

*Palabras clave:* polisulfuro, difusividad, dinámica molecular, baterías de litio, almacenamiento de energía.

---

## Fabricación de un filtro a base de piedra pómez impregnado con un catalizador de óxido de cerio y zinc, sintetizados por el método de coprecipitación empleando $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

*Geraldyné Gómez<sup>1</sup>, Alejandra Luna<sup>1\*</sup>, Leda Pernet<sup>1</sup>, Óscar Vargas<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Proquibios, Programa de Ingeniería Química, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia

<sup>2</sup>Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia \*apluna@mail.uniatlantico.edu.co

### Resumen

En este trabajo se describe la formulación y fabricación de un soporte, el cual se impregnó con un catalizador sintetizado por el método de coprecipitación, utilizando acetato de zinc dihidratado y nitrato de cerio hexahidratado como precursores, empleando piedra pómez comercial, junto a aglutinantes orgánicos como la carboximetilcelulosa (CMC), e inorgánicos como la bentonita, con el objetivo de obtener una estructura compacta en forma de monolito.

Los monolitos se prepararon utilizando una relación 3:1 del material principal del soporte (piedra pómez) al aglutinante inorgánico (bentonita), utilizando como variables las cantidades de carboximetilcelulosa y agua, ya que son los parámetros más importantes en la formulación de la pasta. Se obtuvieron 9 pastas diferentes, las cuales fueron procesadas en un extrusor manual; luego de esto se secaron a temperatura ambiente durante dos días, y posteriormente se calcinaron. Se evaluó la superficie y la estructura compacta y se determinó que la formulación con mejor resultado fue de 36.45 % de piedra pómez, 12.15 % de bentonita, 3.40 % de CMC y 48 % de agua.

Por otra parte, para la preparación del catalizador de óxidos mixtos de cerio y zinc los precursores se diluyeron

conjuntamente, y empleando hidróxido de amonio como agente precipitante, se obtuvieron sales de zinc y cerio. Estas fueron secadas y calcinadas hasta obtener el catalizador que fue analizado por XFR, DRX, DLS, BET, SEM-EDS y FTIR. El análisis DRX mostró que el catalizador está constituido, en su mayoría, por ZnO (73.9 %) y CeO (26.1 %), con un tamaño de poro de 9.36 nm. Por su parte, los resultados de FTIR registraron las bandas características para ZnO y CeO<sub>2</sub>, es decir, picos en 430 cm<sup>-1</sup> y 1300 cm<sup>-1</sup> respectivamente. Además, las micrografías obtenidas por SEM mostraron una morfología esférica, la cual es característica de estos compuestos.

Finalmente, se preparó un *slurry* con el catalizador y el alcohol polivinílico (PVOH), como aditivo, estabilizando la solución con ácido acético; la suspensión se depositó sobre los monolitos de piedra pómez por inmersión o *washcoating*. Después de la primera inmersión, se obtuvo la carga deseada sobre el soporte, por lo que se procedió a calentar los filtros. Estos fueron caracterizados por SEM para observar la uniformidad de la fase depositada y por baño ultrasónico para evaluar la adherencia del catalizador. El lodo calcinado se caracterizó por DRX, FTIR, SEM-EDS, BET. El análisis DRX para el *slurry* calcinado mostró un incremento del 1.6 % en la fase del ZnO y la presencia de picos en el difractograma de menor intensidad comparados con los del catalizador sintetizado inicialmente, lo cual pudo haber ocurrido por la preparación del *slurry* y mezcla nuevamente con otros compuestos como el PVOH y que además ocasionó un aumento del promedio del tamaño de cristal para el óxido de cerio y una disminución de este para el óxido de zinc. De igual forma, las micrografías obtenidas por SEM mostraron la forma esférica característica del óxido de zinc y cerio y la adherencia uniforme del catalizador en la superficie del filtro.

*Palabras clave:* monolitos, extrusión, óxido de cerio, óxido de zinc, washcoating.

## Reforzamiento de películas de almidón termoplástico con aceite epoxidado de soya

*Ángela A. Beltrán Osuna, Jairo E. Perilla\**

Grupo de Procesos Químicos y Bioquímicos, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, carrera 30 # 45-03, edificio 453, oficina 320, Bogotá, Colombia

\*jeperillap@unal.edu.co

### Resumen

Una alternativa a los plásticos sintéticos obtenidos convencionalmente de derivados del petróleo, son los biopolímeros; entre ellos, el almidón es una opción muy prometedora debido a su gran disponibilidad, bajo costo y por no ser tóxico. Además de ser una molécula biobasada, también es biodegradable y biocompostable, características que han convertido al almidón en foco de numerosas investigaciones en las últimas décadas para su aplicación en la industria de empaques. A pesar de sus interesantes propiedades y múltiples aplicaciones, las películas de este material son altamente permeables a la humedad, y tienen bajas propiedades mecánicas y baja procesabilidad, factores que limitan su uso extendido en la industria.

En este trabajo se evalúa una alternativa para el reforzamiento de películas de almidón termoplástico (TPS) mediante la apropiada selección del plastificante. Este enfoque presenta diferentes retos, ya que la estructura molecular del TPS es parcialmente no lineal y compleja, conllevando a problemas de ductilidad, además del conocido fenómeno de retrogradación, que conlleva a la fragilidad. En este caso, la naturaleza del plastificante y su concentración en la formulación son de vital importancia para lograr obtener películas homogéneas con adecuada flexibilidad, resistencia mecánica y propiedades de barrera para su uso en empaques comerciales. Este trabajo evalúa el uso de aceite epoxidado de soya (ESBO), ampliamente investigado como plastificante para PVC, pero muy poco estudiado para el almidón. Se obtuvieron películas

de 130 micras de espesor promedio, mediante el proceso de *solvent casting*, utilizando ESBO en diferentes concentraciones, y dos métodos: agregado como plastificante, o realizando una reacción química de hidroxilación (con ácido sulfúrico) entre los grupos epoxi del ESBO con la matriz polimérica. Así, fue posible mejorar la resistencia del material en un 70 %, obteniendo un esfuerzo máximo de tensión de 11,6 MPa para la película entrecruzada, comparado con un valor de 6.8 MPa obtenido para la película básica de almidón. Mientras que solo se obtuvo una mejora del 15 % (un esfuerzo máximo de tensión de 7.5 MPa) cuando se agregó el ESBO simplemente como plastificante (ambos casos con un contenido del 4 % de ESBO, respecto al almidón). Dicho entrecruzamiento fue posible confirmarlo a través de una espectroscopía infrarroja que permitió evidenciar la desaparición de la señal a  $824\text{ cm}^{-1}$ , correspondiente al grupo epoxi, comprobando así su reacción. La técnica de microscopía electrónica de barrido también permitió observar las diferencias morfológicas de la película entrecruzada, y proponer un mecanismo sobre cómo se da el reforzamiento. Finalmente, se determinó también la permeabilidad a vapor de agua promedio de la película básica ( $2.96 \times 10^{-10}\text{ g / Pa}\cdot\text{m}\cdot\text{s}$ ) y de la entrecruzada ( $2.07 \times 10^{-10}\text{ g / Pa}\cdot\text{m}\cdot\text{s}$ ), pero no se comprobó una diferencia estadística significativa entre las mismas.

*Palabras clave:* almidón termoplástico, aceite epoxidado de soya, empaques, biopolímero, película.

---

## Síntesis y caracterización de un poliglicerol modificado con poli (ácido cítrico-glicerol) para su uso como agente dispersante

*Lina María Abril Moreno<sup>1\*</sup>, Luis Eduardo Zapata Orduz<sup>1</sup>, Gustavo Emilio Ramírez Caballero<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Polímeros, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander - UIS, Bucaramanga, Colombia

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones en Catálisis, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander - UIS, Bucaramanga, Colombia

\*lina2208133@correo.uis.edu.co

### Resumen

Llevar a cabo un correcto proceso de bombeo durante el trabajo de cementación de pozo se logra garantizando que la lechada de cemento permanezca dispersa y en estado fluido durante varias horas. Esto es posible gracias a los aditivos poliméricos que actúan como dispersantes, debido a que estos pueden reducir la viscosidad de la lechada. Su comportamiento está determinado por la estructura química, la cual puede generar fuerzas de repulsión electrostática o de impedimento estérico entre las partículas. Hoy en día, estudiar la influencia de estas estructuras es uno de los desafíos de la ciencia de los polímeros, así como incentivar el uso de reactivos que clasifiquen dentro de la química verde para disminuir el impacto negativo hacia el ambiente. El ácido cítrico y el glicerol son compuestos de bajo costo, no tóxicos y de alta funcionalidad que se han empleado en la síntesis de copolímeros. A partir de estos se han obtenido materiales biocompatibles con alta resistencia térmica. El uso de estos monómeros da como resultado estructuras ramificadas que pueden ser usadas en un amplio rango de aplicaciones. En este trabajo de investigación se ha desarrollado un polímero que será evaluado como dispersante para el cemento.

Se propuso una síntesis de dos etapas, con el objetivo de obtener un polímero ramificado. Se tiene como hipótesis que

estas ramificaciones van a generar un efecto estérico sobre las partículas del cemento de pozo, mejorando su dispersión. En la primera etapa se sintetizó un prepolímero que actuó como núcleo y propició la formación de las ramificaciones. Se obtuvo de la copolimerización entre el ácido cítrico y el glicerol. En la segunda etapa, se llevó a cabo el crecimiento de estas ramificaciones en el prepolímero, a través de la polimerización del glicerol. Las reacciones se realizaron por medio de la policondensación por calentamiento mediante ondas microondas en el equipo Discovery SP, marca CEM. Los materiales fueron caracterizados por la técnica espectroscopía infrarrojo por transformada de Fourier, análisis termogravimétrico, calorimetría diferencial de barrido y resonancia magnética nuclear. La presencia del grupo funcional éster en el material final y los diferentes carbonos que aparecen en los 3 espectros cuantitativos de los polímeros, evidencian la aparición de nuevos enlaces en el copolímero resultado de la formación de una nueva estructura. El análisis térmico presentó mejoras en la resistencia y la aparición de dos transiciones vítreas, lo que supone un comportamiento heterogéneo del material.

*Palabras clave:* poliglicerol, poli (ácido cítrico-glicerol), polímero ramificado, copolímeros.

---

## Influencia del tamaño de partícula en la primera etapa de formación de película para dispersiones poliméricas acuosas: perfil horizontal de secado

*Diana K. Guzmán S.<sup>1</sup>, Daniel H. Builes<sup>2</sup>, Jairo E. Perilla<sup>3\*</sup>*

<sup>1,3</sup>Grupo de Procesos Químicos y Bioquímicos, Maestría en Ingeniería Química, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, carrera 30 # 45-03

<sup>2</sup>Andercol S. A. S., calle 19A # 43B-41, Medellín

\*jperillap@unal.edu.co

### Resumen

Es conocido que el mercado de los recubrimientos de base acuosa actualmente está en crecimiento. Una de las causas es debido a los inconvenientes de compuestos orgánicos volátiles (VOC's) para el medio ambiente y la salud. De hecho, para el periodo comprendido entre el 2018 y el 2026, se estima que el mercado de los recubrimientos base agua crecerá a una tasa moderada de 5 %, y se pronostica una ganancia de US \$114,70 billones de dólares en el mundo para el 2026 (Inpralatina, 2019). Sin embargo, en algunas ocasiones estas dispersiones presentan problemas en los tiempos de secado y la morfología de su película seca (grietas, porosidad). Por tal motivo, es de interés, tanto académico como industrial, los temas de formulación y formación de película, con el fin de comprender y solucionar los problemas relacionados con el desempeño de la dispersión.

Las dispersiones poliméricas acuosas son una suspensión de partículas de polímero estables, con un diámetro aproximado de 0.1 a 1  $\mu\text{m}$  en un medio continuo (agua). En muchas ocasiones, estas dispersiones se caracterizan por formar una película continua y brillante sobre la superficie donde se aplica a medida que se seca. Por esta razón, son usadas como ligantes en pinturas o en adhesivos sensibles a la presión. El proceso por el que se pasa de una suspensión a una película

lisa se conoce como formación de película, la cual tiene como primera etapa la evaporación lineal de solvente. El desempeño final de la película, así como la aparición de defectos como grietas, dependerá en gran medida de la cinética y las condiciones de secado.

En esta investigación se estudió por medio de la gravimetría, viscosimetría y el análisis de imagen la primera etapa de evaporación del solvente y su perfil horizontal bajo diferentes condiciones de temperatura (20 °C y 30 °C) y humedad relativa (60 % RH y 40 % RH). Se definieron dos dispersiones poliméricas de diferente tamaño de partícula (TME-136nm y TMA-227nm). Por medio del cálculo de la velocidad de evaporación y el número adimensional de presión capilar, se predijeron los tiempos de apertura y se compararon con las observaciones experimentales. Como resultado, se encontró que la dispersión TMA tiende a secar más rápido los bordes y, por lo tanto, presenta un secado más heterogéneo dentro de la película que la dispersión TME. Esta última se caracteriza por tener áreas secas relativas del 10 %-20 % a los 240 minutos de secado, mientras que la dispersión TMA tiene entre el 25 % y el 40 % del área seca relativa al mismo tiempo. Cabe mencionar que el número adimensional capilar coincide con las observaciones experimentales al predecir el perfil de secado para las dos dispersiones. Finalmente, se concluye que mediante el perfil horizontal de secado pueden explicarse fenómenos de agrietamiento por medio del secado no homogéneo de la película.

*Palabras clave:* evaporación de agua, dispersión polimérica acuosa, presión adimensional capilar, tiempos de apertura y recubrimiento.

---

## Influencia del tamaño de partícula en la primera etapa de formación de película para dispersiones poliméricas acuosas: perfil vertical de secado

*Diana K. Guzmán S.<sup>1</sup>, Daniel H. Builes<sup>2</sup>, Jairo E. Perilla<sup>3\*</sup>*

<sup>1,3</sup>Grupo de Procesos Químicos y Bioquímicos, Maestría en Ingeniería Química, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, carrera 30 # 45-03

<sup>2</sup>Andercol S. A. S. Calle 19A # 43B-41, Medellín

\*jeperillap@unal.edu.co

### Resumen

Una parte de la innovación de productos en la industria de pinturas es la producción de una pintura con cero o bajo contenido de compuestos orgánicos volátiles (VOC's). Esto se debe principalmente a dos razones principales: I) el impacto negativo sobre el medio ambiente y la salud que tienen los compuestos orgánicos volátiles (VOC's); y II) la normativa actual del control de VOC's presentes en las pinturas-recubrimientos de base solvente. Actualmente, una de estas soluciones es el uso de dispersiones poliméricas acuosas, por tal motivo, la demanda de estos productos está en crecimiento. Se pronostica que durante el periodo de 2018-2026, el mercado de los recubrimientos de base agua crecerá a una tasa moderada de 5 %. Sumado a esto, según un estudio de Markets & Markets (2019), se proyecta una tasa anual compuesta de 4.4 % con ganancias de US \$91.8 y US \$114.70 billones de dólares en el mundo para el 2024 y 2026, respectivamente. No obstante, a pesar de su potencial, estas dispersiones tienen desventajas con respecto a los tiempos de secado y de formación de película. En consecuencia, temas relacionados con la formulación y la fenomenología del proceso de formación de película hacen parte de las investigaciones tanto en el sector académico como en el industrial.

Las dispersiones poliméricas acuosas son sintetizadas por medio de una técnica conocida como polimerización en emulsión, que se caracteriza por producir una suspensión de partículas de polímero con un diámetro aproximado de 0.1 a 1  $\mu\text{m}$  en un medio continuo (agua). Por lo general, estas dispersiones tienen la capacidad de formar una película continua, lisa y brillante sobre la superficie donde se aplica; debido a esto, se emplea en la industria de pinturas y recubrimientos. El proceso por el cual se pasa de una suspensión a una película lisa se conoce como formación de película, y se explica a través de tres etapas: evaporación lineal del solvente, empaquetamiento de las partículas poliméricas y la consolidación de la película. Cabe mencionar que las propiedades mecánicas y la morfología de la película dependerá de las condiciones de secado, la composición y las características de la dispersión, lo cual es todavía fuente de investigación.

En este documento, se estudió por medio de la gravimetría la primera etapa de evaporación del solvente y su perfil vertical bajo diferentes condiciones de temperatura (20 °C y 30 °C) y humedad relativa (60 % y 40 % RH). Se emplearon dos dispersiones poliméricas de diferente tamaño de partícula (TME-136nm y TMA-227nm) y sus mezclas. Se calculó la velocidad de evaporación y el número de Peclet, con el fin de comprender el efecto que tiene el tamaño de partícula en la primera etapa de secado y su posible estratificación en las mezclas. Como resultado, se encontró que las curvas de secado son similares en la zona lineal, sin embargo, hay diferencias en la pérdida de peso de las películas monodispersas cuando las condiciones ambientales son de 20 °C y 60 % RH. En contraste, para las mezclas solo hay diferencias a 20 °C -40 % RH y 30 °C -40 % RH. Sumado a esto, se encontró la influencia de los meniscos: I) sustrato-dispersión en la velocidad de evaporación; y II) polímero-interfase agua-aire en la pérdida de peso. Finalmente, los números promedio de Peclet calculados son mayores que la unidad y predicen la formación de una capa superficial llamada piel. En cuanto a

la estratificación, las diferencias entre los números de Peclet no son lo suficientemente amplias para lograr el fenómeno de estratificación en las mezclas empleadas.

*Palabras clave:* formación de película, dispersión polimérica acuosa, curva de secado, estratificación y recubrimiento.

## Uso de herramientas computacionales para el diseño de nuevas moléculas del tipo heterociclo fano en materiales optoelectrónicos, basados en cumarinas y tiofeno

Diego Quiroga y Carlos Coy Barrera\*

Grupo Integrado de Investigaciones en Química Bioorgánica, Departamento de Química, Universidad Militar Nueva Granada, Km 2, Vía Cajicá-Zipaquirá

\*diego.quiroga@unimilitar.edu.co

### Resumen

Las cumarinas son moléculas con un núcleo específico de benzopirona, se han aislado de gran cantidad de especies naturales y han sido ampliamente estudiadas dado su uso como modelo para el diseño avanzado y síntesis de derivados farmacológicamente más activos. Recientemente, el grupo InQuiBio ha iniciado el estudio de la síntesis, caracterización y aplicación electroquímica de moléculas del tipo cumarina, que cuenta con un anillo aromático de tiofeno en posición 3. Considerando que este tipo de derivados heterocíclicos suele emplearse para la síntesis de heterociclofanos, específicamente calix[4]tiofenos, conocidos sensibilizadores orgánicos con segmentos donantes, enlazadores y aceptores ( $D - \pi - A$ ) y altos coeficientes de absorción, en este trabajo se presenta un estudio computacional *ab-initio* usando el método Hartree-Fock, con el fin de diseñar moléculas del tipo 3,3',3'',3''''-(1,3,5,7(2,5)-tetratiofenaciclooctafano-13,34,54,74-tetra-*trai*l)

tetrakis(6-sustituido-2*H*-cromen-2-ona) 1-10, que puedan ser utilizadas en la construcción de materiales optoelectrónicos. El nivel de cálculo empleado fue HF 6-31G(d,p) y los resultados correlacionados corresponden a los descriptores de energía total, diferencia de energía entre los orbitales moleculares frontera homo-lumo y momento dipolar. Los compuestos con menor valor de energía total corresponden a 6 y 10, demostrando que la presencia de grupos Cl y NO<sub>2</sub> tiende a estabilizar el sistema aromático de cumarina adyacente al sistema heterociclofano. Por otro lado, el compuesto 10 muestra el menor valor de diferencia de energía lumo-homo, sugiriendo que un grupo amida de tipo electroattractor tiene un efecto favorable para el proceso de absorción de radiación electromagnética. Además, se observa una tendencia respecto a la naturaleza electrónica del sustituyente, toda vez que todas las moléculas con este tipo de grupos (6, 7 y 10), mostraron menores valores de diferencia de energía lumo-homo y, presumiblemente, una mejor capacidad de absorción en el UV-Vis. Los valores de momento dipolar calculados sugieren que la presencia de dichos grupos afecta la polaridad global de la molécula, lo cual podría afectar su solubilidad en solventes polares como el agua, pero mejora su solubilidad en disolventes poco polares, siendo favorable para la preparación de materiales poliméricos. Producto derivado del proyecto INV-CIAS-3409 financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada, vigencia 2021.

*Palabras clave:* cumarinas, derivados de tiofeno, química computacional, materiales optoelectrónicos.

---

## Producción biotecnológica de ácido láctico a partir del lactosuero aplicado a la síntesis de ácido poliláctico

*Laura Viviana Cuervo<sup>1\*</sup>, Liz Karen Herrera<sup>1</sup>, Camilo Andrés Sanabria<sup>2</sup>, Juan Carlos Serrato<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Análisis de Fallas, Integridad y Superficies - AFIS, Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia

<sup>2</sup>Ingeniero químico de la Fundación Universidad de América

<sup>3</sup>Grupo de Procesos Químicos y Bioquímicos, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia

\*lcuervog@unal.edu.co, laura.101193@hotmail.com

### Resumen

El presente documento se centra en los resultados obtenidos en los años 2016 y 2019 frente a la producción de ácido láctico a partir del lactosuero. Donde en las investigaciones desarrolladas se observó el problema ambiental a causa del residuo denominado lactosuero, que genera la industria láctea en la producción de quesos.

En las investigaciones planteadas se logró desarrollar un nuevo proceso que utiliza dicho residuo para transformarlo en ácido poliláctico (PLA), un biopolímero con características biodegradables y compostables. La investigación cuenta con dos solicitudes de patentes públicas por el método de obtención del ácido poliláctico, a partir del lactosuero (NC2018/0007766) y (WO/2020/021346).

El proceso de transformación del lactosuero en el biopolímero consta de 4 etapas: desproteinización, fermentación, separación y polimerización. El proceso de fermentación parte de una concentración del 6 % de lactosa presente en el subproducto, bajo ese principio se decide utilizar el suero como fuente de carbono para la generación de ácido láctico en un proceso simbiótico homofermentativo utilizando bacterias

ácido-lácticas, las cuales son: *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* y el *Streptococcus thermophilus*.

En ambas investigaciones se buscó aumentar los rendimientos de producción de ácido láctico, haciendo cinéticas microbianas. Donde se evaluaron el consumo de sustrato con pruebas de azúcares reductores, producción del ácido láctico por el método de acidez titulable y el crecimiento de microorganismos por el método de diluciones seriadas y recuento en placa. En la investigación del año 2016 se presenta la fermentación de dos tipos de suero: desproteínizado y sin desproteínizar, arrojando valores de concentración de ácido láctico después de 24 horas de inoculación y 72 horas de fermentación de 9,81 g/L y 11,05 g/L, respectivamente, se determinó que facilitaba el proceso de separación utilizar el suero desproteínizado.

Sin embargo, el proceso total de obtención del PLA era de 5 días, debido a la fermentación y en la investigación del año 2019 se buscó reducir el tiempo de fermentación mediante la optimización enzimática utilizando la enzima  $\beta$ -galactosidasa. Se realizaron dos experimentos con suero desproteínizado, donde uno contenía la enzima con los microorganismos en la inoculación y el segundo aplicaba la enzima antes de inocular los microorganismos, los tiempos fueron de 24 horas de inóculo y 24 horas de fermentación, arrojando concentraciones de ácido láctico del 10,62 g/L y 10,26 g/L, respectivamente.

*Palabras clave:* bacterias ácido-lácticas, ácido láctico, fermentación, lactasa, hidrólisis enzimática.

---

## Implementación de la técnica de impregnación para la síntesis de materiales de cátodos de celda SOFC de alta eficiencia

*Omar Rojas García<sup>1</sup>, Fernando Viejo Abrante<sup>2</sup>, Gilles Henri Gauthier<sup>1</sup>, Sebastián Vecino Mantilla<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>*Grupo de Investigación en Tecnologías de Valorización de Residuos y Fuentes Agrícolas e Industriales para la Sustentabilidad Energética - Interfase, Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, carrera 27, calle 9, Ciudad Universitaria Bucaramanga, Santander, Colombia*

<sup>2</sup>*Grupo de Investigación en Desarrollo y Tecnología de Nuevos Materiales - Gimat, Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, carrera 27, calle 9, Ciudad Universitaria Bucaramanga, Santander, Colombia*

*\*omar2198573@correo.uis.edu.co*

### Resumen

Las celdas de combustible de óxido sólido (SOFC) son dispositivos de conversión energética consideradas como una solución alternativa y limpia de la demanda energética actual, dado que los métodos de producción convencionales (tales como la combustión de hidrocarburos o las hidroeléctricas) tienen una baja eficiencia de conversión o generan un impacto medioambiental. Adicionalmente, las SOFC tienen como ventaja la posibilidad de ser alimentadas con distintos combustibles. No obstante, estas celdas presentan aún algunos inconvenientes durante su uso, como por ejemplo, la degradación que sufren los materiales de sus componentes, así como la reactividad que ocurre en las interfases dichos componentes (especialmente en la zona del cátodo), esto siendo consecuencia de largos periodos de operación a altas temperaturas (<850 °C). En el cátodo esta degradación se presenta a través del envejecimiento de la microestructura del material (crecimiento de los granos, formación de fases, polarización), así como en su reactividad con el electrolito. Considerando estos aspectos, el grupo Interfase ha desarrollado previamente estudios en los cuales plantea el uso de las manganitas de itrio dopadas

con zirconio ((Y,Zr)MnO<sub>3</sub>) como cátodo debido a su baja reactividad con otros componentes dada la presencia del itrio, así como el hecho que funcionan como un material de tipo conductor mixto (eléctrico y electrónico), facilitando de esta manera la transferencia de los iones de oxígeno de un lado al otro de la celda.

A pesar de suplir las falencias mencionadas, este material presentó un comportamiento electroquímico dependiente de la microestructura. Es así como, considerando este aspecto, el presente trabajo plantea el método de impregnación como método de síntesis para la obtención de materiales de cátodo que permitan mejorar su microestructura (menor tamaño de los granos) y así establecer parámetros importantes, tales como la temperatura de sinterización del electrolito poroso y la temperatura de síntesis del material. El óxido de zirconio itriado (YSZ) comercial fue calcinado a 1200 °C y 1300 °C para su posterior impregnación con una solución precursora de YMnO<sub>3</sub>, (Y(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> y MnNO<sub>3</sub> 0.5M cada uno, y disueltos en etanol-agua (50 % v/v)). El proceso anterior se repitió hasta obtener una concentración de 30 % p/p (material depositado/YSZ). Finalmente, se calcinó a temperaturas entre 1000 °C y 1200 °C. De las pruebas realizadas se pudo observar la formación exitosa de la fase deseada (Y,Zr)MnO<sub>3</sub> a través de este método alternativo, así como la difusión de iones de Zr del electrolito al cátodo.

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que el material sintetizado a 1200 °C sobre el YSZ previamente calcinado a 1200 °C, presenta una mayor difusión del Zr en comparación del resto, siendo esto beneficioso, ya que al aumentar el contenido del Zr en la celda de unidad esta cambia de grupo espacial a uno más apropiado para el intercambio iónico, como lo es el electrónico. Actualmente se está desarrollando el esqueleto de YSZ sobre YSZ denso, para la posterior impregnación usando la solución con los precursores. Así se evaluará la similitud en las fases con respecto al polvo, además de medidas electroquímicas para determinar el efecto del cambio de la microestructura sobre la temperatura de funcionamiento, también de la resistencia del electrodo.

*Palabras clave:* SOFC, cátodo, impregnación, energías renovables.

## La industria del cacao como fuente de fibra celulósica

Luisa María Rincón Romo<sup>1</sup>, Jhonnyer Julián Valencia Arredondo<sup>1</sup>, Melvin Aroldo Durán<sup>1\*</sup>, Jeffrey León Pulido<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Tecnología Química, Grupo de Investigación en Desarrollo de Procesos Químicos, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

<sup>2</sup>Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Ean, Bogotá, Colombia

\*melvin.duran@utp.edu.co

### Resumen

El cacao se ha utilizado a lo largo de la historia como un alimento con propiedades energizantes, por placer o por la interacción en sociedad, como *statu quo*. En la actualidad, el cacao se puede encontrar en muchas presentaciones comerciales para su consumo, además, alrededor de cada proceso son generadas cantidades considerables de residuos que son tratados actualmente como desechos, debido a que no se les encuentra un uso comercial inmediato. El presente trabajo describe el estudio de una fibra tipo *wisker* obtenida a partir de la cáscara del fruto del árbol de cacao (*Theobroma cacao L*), utilizando un proceso químico con perácidos que tiene ventajas importantes en lo económico y en el tiempo de obtención. Generalmente en Colombia, existe un potencial para una disposición innovadora o mercantil, entre ellas, se generan en la obtención de los granos de cacao, los cuales son en su mayoría la cáscara o cacota, como se le conoce comúnmente en el Eje Cafetero. Consecuentemente, en este estudio se proponen técnicas para la obtención y caracterización de las fibras a través de pruebas químicas, físicas y mecánicas, a partir del residuo principal del proceso de producción del cacao (cáscara/cacota), así como sus posibles aplicaciones a nivel comercial. De igual modo, se presenta una prospectiva para abrir paso en la visualización de un uso comercial para la fibra obtenida, dándole valor agregado a los residuos

generados en los procesos de producción de monocultivos como el cacao, siempre con miras al aprovechamiento de residuos, y el fomento de una cultura de innovación y protección al medio ambiente.

*Palabras clave:* celulosa, cacao, extracción de fibras, residuos, fibra celulósica.

## Modificación de poliéster insaturado utilizando fibras de nanocelulosa mediante poliesterificación *in situ*

*Daniel Marín<sup>1,2</sup>, Cristina Castro<sup>2</sup>, Piedad Gañán<sup>2</sup>,  
Agnieszka Tercjak<sup>3</sup> y Daniel Builes<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Departamento de Investigación y Desarrollo, Andercol S. A. S., calle 19A # 43B-41, Medellín, Colombia

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Nuevos Materiales, Escuela de Ingenierías, Universidad Pontificia Bolivariana, Circular 1, N.º 70-01, Medellín, Colombia

<sup>3</sup>*Grupo de Investigación Materiales + Tecnologías, Departamento de Química e Ingeniería Ambiental, Universidad del País Vasco, Plaza Europa 1, 20018 Donostia, San Sebastián, Gipuzkoa, España*

\**daniel.builes@andercol.com.co*

### Resumen

El interés en el uso de fibras de nanocelulosa (FNC) para desarrollar materiales compuestos de matriz polimérica ha crecido en las últimas décadas debido a su abundancia en la naturaleza, renovabilidad, altas resistencia mecánica y térmica, y gran área superficial. Se han reportado trabajos con matrices como el ácido poliláctico, el poliéster insaturado y la policaprolactona, donde se han reforzado con FNC en un proceso posterior a la fabricación. En dichos materiales compuestos la principal interacción matriz-FNC se genera a través de enlaces de hidrógeno. Sin embargo, el uso de las FNC ha sido limitado debido a que su extracción se da principalmente en un medio acuoso, lo que es desfavorable para ser empleado

en matrices hidrofóbicas. Como alternativa, algunos trabajos reportan las FNC modificadas *químicamente* para usarse *in situ* durante el proceso de polimerización. Cabe destacar que en la literatura revisada no se encontraron informes del uso de FNC durante la síntesis de un poliéster insaturado (UP). Considerando lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de usar moléculas de UP modificadas químicamente con FNC sobre la distribución de fases de una matriz de resina poliéster insaturado (UPR) curada. Se encontró que las FNC se podían generar directamente en un solvente orgánico, lo cual facilitó la síntesis del UP. Además, se observó que en dicha síntesis se logró una modificación química en las fibras, lo que permitió lograr una mejor interfaz con la matriz de UPR. Este efecto no se observó cuando se añadió FNC *ex situ* en la UPR. Las morfologías de las superficies internas de la UPR pura y la UPR modificada curadas fueron analizadas por microscopía de fuerza atómica (AFM). Las imágenes permitieron observar que las FNC generaron una morfología más heterogénea de la matriz debido a los cambios generados por las FNC en la miscibilidad del sistema, es decir, las interacciones estireno-UP y UP-FNC. El módulo de almacenamiento  $E'$ , y el factor de amortiguamiento  $\tan \delta$ , se midieron mediante análisis dinámico-mecánico (DMA), y fue posible observar que los nanocompuestos UPR-FNC *in situ* lograron una interfaz fuerte que ayudó a aumentar ambas propiedades con respecto a la UPR pura.

*Palabras clave:* resina de poliéster insaturado, distribución de fases, modificación *in situ*, fibra de nanocelulosa en glicol.

---

## Extração de uma lignina *Organosolv* da biomassa de açaí (*Euterpe oleracea*)

Mellany Paula Xavier Gonçalves<sup>1</sup>, Lamia Zuniga Linan<sup>1</sup>, José Roberto Pereira Rodrigues\*

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Química (DEEQ). Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Av. dos Portugueses 1966, Bacanga – CEP 65080805, São Luís – MA, Brazil \*[mellany.xavier@discente.ufma.br](mailto:mellany.xavier@discente.ufma.br)

### Resumo

O açaí *Euterpe oleracea*, típico da região Amazônica é um dos frutos mais comercializados no Brasil. Seu fruto é popularmente consumido na forma de suco por possuir um grande valor energético, alta concentração de fibra alimentar e excelentes propriedades antioxidantes. No entanto, decorrente do processo de produção da polpa são geradas grandes quantidade de resíduos, isto é, a biomassa de açaí, que por ser descartada de forma inadequada provocam impactos negativos para o meio ambiente. Contudo, a biomassa do açaí é de natureza lignocelulósica, possuindo um teor significativo de lignina (@ 22 % p/p), que merece ser extraída e quantificá-la, visto que, este derivado possui alto potencial para ser usado como precursor de materiais de carbono e biocombustíveis. Nesse contexto, e tendo em vista o contínuo esgotamento dos combustíveis fósseis e a necessidade de novas fontes que permitam suprir as necessidades energéticas vigentes, este trabalho teve como intuito definir a melhor condição experimental para a extração da lignina da fibra e do caroço de açaí (*Euterpe oleracea*) e, avaliar o potencial da biomassa para produzir este derivado lignocelulósico. Considerando as propriedades dos diversos tipos de ligninas e os métodos de extração disponíveis, a metodologia *Organosolv* foi escolhida para a extração da lignina da biomassa de açaí, especificamente o método *Acetosolv*, por permitir a extração de uma lignina mais representativa da biomassa e com alto teor de pureza. Além disso, a extração *organosolv* utiliza solventes orgânicos (ácido acético

ou uma mistura com etanol) ao invés dos acostumados sulfitos e hidróxido de sódio, sendo considerado um método mais ecológico. O estudo foi conduzido com base em planejamentos estatísticos do tipo ( $2^2+3$  pontos centrais), onde as variáveis independentes foram a concentração de mistura reacional e o tempo de reação, e a variável resposta foi o rendimento de lignina extraída. Uma metodologia experimental, a escala laboratorial foi adaptada permitindo a extração da lignina a condições mais simples e acessíveis. Os gráficos de superfície de resposta permitiram concluir que ambas as variáveis, concentração e tempos influenciaram positivamente no rendimento de extração, obtendo-se para uma concentração de ácido de 92,5% (v/v), um tempo de reação de 5 h e à pressão atmosférica, um rendimento de lignina de 1,5% p/p (após purificação). Os resultados de espectroscopia, na região infravermelho mostraram bandas características dos grupos funcionais de ligninas, típicas das gramíneas. Assim verificou-se que é possível a extração deste derivado da biomassa de açaí com a metodologia implementada.

*Palavras-chaves:* Biomassa de açaí, Lignina, Extração acetosolv, Rendimento

---

## Corrosion study of API N-80 carbon steel under steam-flue gas co-injection as an enhanced recovery method (EOR).

*Adrián Ricardo Cárdenas-Flórez\*<sup>1</sup>, Jhon Freddy Aceros-Cabezas<sup>1</sup>, Juan Carlos Orozco-Agamez<sup>1</sup>, Caterine Ariza-Quiroga<sup>2</sup>, Samuel Fernando Muñoz-Navarro<sup>2</sup>, Darío Yesid Peña-Ballesteros<sup>1</sup>\**

<sup>1</sup> Grupo de Investigaciones en Corrosión (GIC), Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Universidad Industrial de Santander (UIS), Cra 27 Calle 9, A.A 678, Bucaramanga, Colombia

<sup>2</sup> Grupo de Investigación Recobro Mejorado (GRM), Escuela de Ingeniería de Petróleos, Universidad Industrial de Santander (UIS), Cra 27 Calle 9, A.A 678, Bucaramanga, Colombia \*adrianflorez19041@gmail.com

### Resumen

In Colombia, the heavy and extra-heavy crude oil fields located in the Valle Medio del Magdalena have been operated using the cyclic steam injection technique for more than 25 years. From this recovery technique, large amounts of combustion gases (CO<sub>2</sub>, among others) are emitted, which pollute the atmosphere and increase the costs of environmental restitution. Therefore, the use of the thermal energy of these gases and the possibility of capturing CO<sub>2</sub> through the hybrid injection of flue gas with steam has been considered as an improved alternative oil recovery technique. However, significant deterioration has been evidenced in the materials that make up the production pipes (tubings) and casings due to the application of this method. In the present study, the behavior of API N-80 carbon steel exposed to a steam-flue gas atmosphere in a reactor working at real operating conditions (pressure (800-1500 psi) and temperature (510-600 °F) of a steam injection process in Colombian oil fields were evaluated. Through this work it has been possible to observe a difference in mass of the materials studied, presenting a corrosion kinetics of linear order. On the other hand, it is expected to study the morphology of the corrosion products formed on the surface through X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy

(SEM) characterization techniques. It is considered that the deterioration originated in the API N-80 carbon steel is mainly due to the aggressive operational working conditions, as well as the presence of CO<sub>2</sub> in the atmosphere, which reacts with water vapor and thus generates corrosive products on the surface of the material. The products were also verified through thermodynamic simulation.

*Keywords:* Corrosion, CO<sub>2</sub>, API N-80, Flue-gas, Enhanced Oil Recovery.

## Evaluación de residuos agroindustriales para su valoración como materia prima potencial de fibra celulósica y su utilización en la industria papelera

*Andrés Campuzano, Natalia Giménez, María*

*Cristina Penayo, Shirley Johanna Duarte\**

Departamento de Aplicaciones Industriales, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Asunción, Campus Universitario, San Lorenzo

\*sduarte@qui.una.py

### Resumen

Con el avance del desarrollo de la industria papelera se han estudiado diversas fuentes de celulosa, para proporcionar una salida más amigable con el medio ambiente proponemos el uso de residuos lignocelulósicos. Entre estas opciones dentro del país, el más prometedor resulta el coco paraguayo *Acrocomia aculeata* (Arecaceae) ya que los hay en abundancia y su costo es bajo, entre los residuos seleccionados se encuentran la cáscara (C) y la pulpa (P) de coco, provenientes del procesamiento del aceite.

En Paraguay se procesan aproximadamente 5 millones de toneladas de coco (Collares, 2019). Según Evaristo *et al.* (2016), los residuos del carozo, cáscara, la pulpa y la almendra,

representan el 27.21 %, 27.16 %, 20.59 % y 1.99 % del residuo total, respectivamente.

Es decir, que se generan alrededor de 1.129.000 toneladas de cáscara (C) y residuo de la pulpa (P) que quedan sin aprovecharse. Por lo que se propone para su aprovechamiento como fuente de celulosa en la obtención de microcristales y microfibras de celulosa (MCC y MFC), y su posterior utilización como aditivo en la industria papelera.

La purificación de la C y P se realizó mediante tratamiento alcalino y blanqueamiento, obteniéndose rendimientos de 58.31 % y 16.30 %, respectivamente. Seguidamente, con el fin de obtener MCC de la P y S, y determinar la influencia del tiempo sobre sus características, se realizó la hidrólisis ácida con HCl a diferentes tiempos (15, 30 y 60 min), evidenciándose una disminución del rendimiento y un aumento de la cristalinidad a mayor tiempo de tratamiento.

Para la obtención de MFC y la determinación de la influencia del tiempo sobre el diámetro de las fibras, se realizó el tratamiento mecánico a los constituyentes con mayor contenido de celulosa C y P, a diferentes tiempos (5, 10 y 20 minutos), utilizando una licuadora industrial, se verificó la disminución del diámetro para ambos, a medida que aumenta el tiempo de tratamiento, resultando la mejor condición a los 10 minutos, ya que al transcurrir el tiempo la dispersión de las MFC se va afectado por el calentamiento de estas.

Diferentes métodos de análisis fueron empleados para verificar las alteraciones en los diferentes productos del proceso, como MEB, FTIR y DRX. Finalmente, se compararon las propiedades de las pastas (°Schopper Riegler) y papeles de mano (resistencia a la tracción y porosidad) aditivados con los MCC y MFC de C y P, en distintas proporciones (2.5, 5, 7.5, 10 y 12.5 %) con relación a un blanco.

*Palabras clave:* microcristales, microfibras, refuerzo, papel.



## Alimentos, bioingeniería, farmacéutica y cosmética

En la actualidad, la investigación y la constante evaluación de nuevas alternativas proponen modelos más sostenibles, innovadores, confiables y económicos en diversos sectores, como los alimentos, la bioingeniería, la farmacéutica y la cosmética. La ingeniería de los alimentos, en conjunto con la microbiología, estudia las transformaciones químico-físicas y de diseño de distintos productos, desde semillas y vegetales hasta flores, para crear alternativas en diferentes sectores. En el ámbito de la bioingeniería, se aplican principios y técnicas de la ingeniería en la investigación y el desarrollo de tecnologías y productos biológicos. Esta disciplina se enfoca en la aplicación de principios de ingeniería para diseñar y desarrollar sistemas y procesos para mejorar la calidad de vida y la salud de las personas.

La bioingeniería se utiliza en áreas como la biotecnología, la ingeniería de tejidos, la ingeniería genética y la medicina regenerativa. En la industria farmacéutica y cosmética, se implementan diversos métodos de obtención de reactivos

y componentes naturales disponibles o sintetizados para desarrollar productos eficaces y seguros. Los avances en la biotecnología y la ingeniería genética permiten el desarrollo de nuevas terapias y medicamentos, así como la producción de ingredientes activos de origen natural o sintético para productos cosméticos. Los procesos de fermentación también son relevantes en estos sectores, ya que permiten la producción de diversos productos, como antibióticos, vitaminas, enzimas y productos lácteos. Además, la obtención de productos hemoderivados, como plasma y factores de coagulación, es una de las aplicaciones más importantes de la biotecnología en el ámbito de la salud. Finalmente, la ingeniería de alimentos, la bioingeniería, la industria farmacéutica y cosmética comparten la utilización de técnicas avanzadas de biotecnología y bioingeniería para el desarrollo de productos eficaces y seguros. Estas disciplinas también comparten la necesidad de una constante investigación y evaluación de nuevas alternativas para poder ofrecer soluciones sostenibles, innovadoras, confiables y económicas a las necesidades cambiantes de la sociedad.

## Cinética de la producción de galactooligosacáridos (GOS) con dos $\beta$ -galactosidasas combinadas: modelo matemático y efectos de materia prima

*Fabian Rico Rodríguez<sup>1,2</sup>, Mario Andrés Noriega Valencia<sup>3\*</sup>,  
Ruth Lancheros<sup>2</sup>, Juan Carlos Serrato Bermúdez<sup>2\*</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Procesos Químicos y Bioquímicos, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, carrera 30, calle 45, Bogotá, Colombia

<sup>2</sup>Grupo de Ingeniería de Fluidos Complejos y Reología de Alimentos, Programa de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena, carrera 50 # 24-120, Cartagena de Indias, Colombia

<sup>3</sup>Grupo de Investigación en Procesos Químicos y Desarrollo Sostenible, Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle, carrera 2 # 10-70, Bogotá, Colombia

\*mnoriega@unisalle.edu.co

### Resumen

Los galactooligosacáridos (GOS) son carbohidratos funcionales con actividad prebiótica, producidos generalmente a partir de diferentes fuentes de lactosa, los GOS son subproductos de valor agregado en la industria láctea. En este trabajo la producción experimental de GOS y sus perfiles cinéticos fueron evaluados en tres materias primas con diferente contenido de lactosa (lactosa pura, permeado y lactosuero). En medios de reacción con 40 % (p/p) de lactosa inicial y  $\beta$ -galactosidasa de *Aspergillus oryzae*, *Kluyveromyces lactis* o su mezcla. Además, se propuso, correlacionó y validó un modelo cinético enzimático. La producción de GOS estuvo en el rango del 32 % al 46 % del total de carbohidratos para todas las fuentes de lactosa. Después de evaluar su combinación, la mezcla obtenida de GOS estaba principalmente por especies de trisacáridos y una concentración similar de disacáridos y tetrasacáridos, que es la mezcla deseada para el crecimiento de microorganismos probióticos. Los resultados sugieren que una combinación de  $\beta$ -galactosidasas de diferentes fuentes mejora la calidad de los GOS en la síntesis prebiótica. Además, el modelo matemático

describe la cinética de GOS para todos los datos experimentales obtenidos, independientemente de la materia prima o fuente de enzima empleada.

*Palabras clave:* modelo cinético, perfil de GOS,  $\beta$ -galactosidasa, lactosa, lactosuero.

---

## Extracción de un colorante natural a partir de la semilla de aguacate *Persea americana* y su aplicación en la industria cosmética

*Lina Mercedes Álvarez Forero<sup>1\*</sup>, Juan Sebastián Moreno Corredor<sup>2</sup>, Lilia Carolina Rojas Pérez<sup>3\*</sup>*

<sup>1,2,3</sup>Grupo de Investigación Ontare, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Química, Universidad Ean, 110221, Bogotá, Colombia  
<sup>\*</sup>lalvare05296@universidadean.edu.co

### Resumen

Actualmente en Colombia se producen más de 638 mil toneladas de aguacate de diversas variedades, entre ellas Hass, Lorena y Criollo, las cuales son distribuidas tanto en el territorio nacional como exportadas a Europa, Asia y Estados Unidos. Con un crecimiento en la producción nacional de aguacate del 89 % durante los últimos cinco años, han aumentado las industrias que se dedican a la transformación de este fruto, dentro de estos procesos de tecnificación se han identificado la generación de dos subproductos, principalmente: semillas y cáscara, las cuales cuentan con diversas propiedades que pueden ser aprovechadas en diferentes industrias. Con el fin de evaluar posibles alternativas para valorizar estos residuos agroindustriales, en este trabajo se evaluó la extracción de un colorante natural a partir de la semilla, esto por medio de una extracción sólido-líquido y sólido-líquido tipo Soxhlet. Como solventes de extracción se utilizaron: agua, etanol

99.8 %, metanol, y dos proporciones de agua:metanol (80:20 y 50:50). Para la metodología Soxhlet, tras 24 horas de extracción, el extracto obtenido fue rotaevaporado y secado en horno de convección a 40 °C hasta el peso seco constante. El mayor rendimiento de extracción se obtuvo para el agua, con un  $20,53 \pm 0,46$  %, seguido de las mezclas de agua:metanol 80:20, con un  $19,49 \pm 0,57$  % y agua:metanol 50:50, con un  $19,40 \pm 0,08$  %. Los menores rendimientos de extracción se obtuvieron para los solventes puros metanol y etanol, con  $14,40 \pm 0,97$  % y  $3,62 \pm 0,43$  %, respectivamente. El mayor rendimiento se obtuvo utilizando agua como solvente de extracción, lo que beneficia el proceso desde el punto de vista de la química verde al aplicar el principio de utilizar disolventes más seguros. El colorante obtenido tiene potencial para aplicarse en diferentes áreas como por ejemplo en la industria de alimentos, cosméticos, pinturas y textiles entre otras.

*Palabras clave:* colorante natural, extracción sólido-líquido, semilla de aguacate, Soxhlet.

## Potencial industrial del extracto lipídico del cáliz de uchuva (*Physalis peruviana*) como recubrimiento para alimentos

*Isabel Cristina Castellanos Cuellar<sup>1\*</sup>, Santiago Bedoya Barrera<sup>2</sup>,  
Daniela Alejandra Ostos Novoa<sup>3</sup>, Lilia Carolina Rojas Pérez<sup>4</sup>*

<sup>1,2,3,4</sup>Grupo de Investigación Ciencias Básicas, Grupo de Investigación Ontare

<sup>1,2,3,4</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Ean, 110221, Bogotá, Colombia

\*iccastellan@universidadean.edu.co

### Resumen

Colombia ha liderado históricamente las exportaciones de uchuva en fresco; en presentación con capacho (cáliz) o sin él, principalmente hacia Europa y Estados Unidos. El cáliz protege al fruto en almacenamiento de la pérdida de humedad, oxidación acelerada, daños mecánicos, entre

otros, aumentando el tiempo de almacenamiento de la fruta de 6 a 40 días. No obstante, el cáliz que representa el 10 % en peso de la producción, una vez retirado de la fruta, está generando problemas de disposición. En este trabajo fueron extraídos los lípidos totales presentes en el cáliz de *Physalis peruviana*, variedad Colombia, para un contenido total del 20 %. El proceso de extracción fue realizado sobre el cáliz de uchuva seco reducido a un tamaño de partícula de 0,128 mm, usando diferentes solventes (hexano, etanol y éter de petróleo) para identificar los parámetros de mayor rendimiento del proceso. El mejor resultado se obtuvo a las 24 horas con etanol ( $20,5 \pm 1,4$  %) seguido del hexano y éter de petróleo con  $9,91 \pm 0,4$  % y  $9,54 \pm 0,5$  %, respectivamente. La cera extraída fue caracterizada inicialmente por cromatografía en capa delgada para la visualización de sus diversas fracciones (ésteres grasos, alcoholes grasos libres y ácidos grasos) y por espectrometría de infrarrojo medio por reflectancia total atenuada con transformada de Fourier (ATR-IR) para la identificación de las señales características de grupos alcohol, grupos éster y grupos alifáticos, en particular con señales para  $-(CH_2)_n-$  ( $n \geq 4$ ) que permiten clasificar el material extraído como una cera, la cual se encontró estable a la oxidación y diseminación de microorganismos en el tiempo (seguimiento por ATR-IR). Estas características físico-químicas del extracto obtenido permiten postular esta biomasa con un reuso potencial dentro de la industria del recubrimiento de alimentos por la presencia de una cera estable que cuenta con las bondades que le concede al cáliz de la uchuva.

*Palabras clave:* cextracción ceras, ATR-FTIR, *Physalis peruviana*, ceras vegetales, recubrimiento de alimentos.

---

## Producción y purificación de vesículas de membrana externa producidas por una cepa hipervesiculante de *Escherichia coli*

Nicolás Rincón Téllez<sup>1</sup>, Héctor Javier Luna Wandurraga<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Química y de Alimentos, Universidad de los Andes, carrera 1 # 18A-12

<sup>2</sup>Grupo Gresia, Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad Antonio Nariño, calle 58A bis # 37-94

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Biomédica, Universidad de los Andes, carrera 1 # 18A-12

\*lh.reyes@uniandes.edu.co

### Resumen

Las vesículas de la membrana externa (OMV) son estructuras esféricas que contienen una pequeña fracción del periplasma de bacterias gramnegativas, rodeadas por su membrana externa. Se producen naturalmente y se desprenden de la superficie bacteriana, participan en diversos procesos biológicos y tienen aproximadamente 10-300 nm de diámetro. La capacidad de algunas bacterias gramnegativas modificadas genéticamente para producir grandes cantidades de estas estructuras, se aprovechan para diferentes aplicaciones, incluidos biosensores, chips de proteínas y biorreactores. Tradicionalmente, la principal aplicación biotecnológica de las OMV ha sido su uso como adyuvantes para el desarrollo de vacunas debido a sus características inmunogénicas naturales. Entre las aplicaciones más atractivas se encuentra la encapsulación de proteínas y péptidos expresados heterológicamente en estas bacterias. En este sentido, las OMV pueden proteger las proteínas expresadas, evitando cambios conformacionales responsables de la pérdida de actividad. Sin embargo, entre los mayores desafíos para todas las aplicaciones de OMV se encuentran los bajos rendimientos, la presencia de macromoléculas no deseadas y los elevados costos de purificación. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue producir proteína verde fluorescente encapsulada en OMV utilizando *Escherichia coli* JC8031, transformada con pTRC99A-ssTorA-GFP, para establecer la ruta de producción

y purificación. Se logró producir OMV con diámetros de aproximadamente 314.5 nm y se verificó la encapsulación exitosa de proteína verde fluorescente (GFP). Además, fue posible concentrar las vesículas mediante cromatografía de exclusión molecular (SEC) con una columna de zeolita, lo cual tiene potencial para reducir los costos de purificación.

*Palabras clave:* cromatografía de exclusión molecular, encapsulación de proteína, proteína verde fluorescente, vesículas de membrana externa.

---

## Physicochemical and functional characterization of the yellow pitaya (*Selenicereus megalanthus*)

*Sharol Garzón<sup>1</sup>, Óscar Álvarez<sup>1</sup>, María Hernández Carrión<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de investigación en Diseño de Productos y Procesos (GDPP), Departamento de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos, Universidad de los Andes, Cra 1 N° 18A-12 Bogotá, Colombia.

<sup>2</sup>Grupo de investigación en Microestructura y Química de Alimentos (Miquali), Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n, Valencia, España.

\*sn.garzon@uniandes.edu.co

### Abstract

The *Selenicereus megalanthus* fruit (yellow pitaya) grown in Colombia is one of the 10 most exotic fruits with the highest exports. In times of high production, there are considerable losses and waste due to the Colombian market's lack of information and stimulus. This research aimed to determine the physicochemical and functional properties of the yellow pitaya grown in regions of Colombia to develop new industrialized food products from pitaya and its by-products (peel and seed). The following tests were carried out: sugar content, cut resistance, and phenolic compounds. Sugar content was quantified following the NREL / TP-510-42618 protocol. Cut resistance test was carried out on pieces of peel, 30mm long x

30mm wide x 5mm thick, using the TA HD texturometer and an HDP / BSK (Blade Set with Knife). Phenolic compounds were quantified following the Folin-Denis colorimetric method. The results showed that *Selenecereus megalanthus* species is characterized by its high total reducing sugars (9.08g glucose / 100g) content. The average resistance of the peel was  $0.28 \pm 0.01$  kg. The total polyphenol content for pulp, peel, and seed was 129.29, 161.27, and 95.08 mg gallic acid / 100g fresh weight, respectively. Results suggest that compared to other fruits, pitaya is rich in phenolic compounds. Therefore, nutraceutical properties are attributed to it, such as reducing the risk of contracting chronic diseases. Considering the above, pitaya could be used to formulate foods that benefit farmers' quality of life enhancing the nutritional profile of their meals.

**Keywords:** Bioactive compounds, By-products, Glucose, Pitaya, Texture.

## Caracterización fisicoquímica del almidón de la achira (*Canna edulis ker*) con relación al almidón de yuca (*Manihot esculenta crantz*)

Ana Paola Echavarría<sup>1\*</sup>, Carmen Matilde de León<sup>2</sup>,  
Delia Noriega Verdugo<sup>1</sup>, Christian Villavicencio  
Yanos<sup>3</sup>, Lorena Daniela Domínguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Estatal de Milagro, Milagro 091050, Provincia de Guayas, Ecuador

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico Superior Simón Bolívar, Guayaquil, Ecuador

<sup>3</sup>Universidad de Guayaquil, Ecuador

\*aechavarriav@unemi.edu.ec

### Resumen

La achira (*Canna Edulis ker*) es una planta de origen sudamericano cultivada para la extracción de almidón, tradicionalmente ha sido un cultivo de minifundio y de huerto familiar

para el autoconsumo. En Ecuador, se encuentra en la zona andina, especialmente en la ciudad de Loja, de sus rizomas se extrae almidón conocido como Chuno, el cual representa una excelente opción para su empleo como alternativa de los ya existentes.

El presente trabajo de investigación se basa en el análisis del almidón de achira, con la finalidad de establecer una caracterización y comportamiento fisicoquímico, para dar a conocer su aprovechamiento debido a las propiedades que presenta, ya que actualmente es un producto poco conocido en el país, basándonos en métodos y técnicas que permitan obtener la información adecuada para llegar a la conclusión de que el almidón cumple con las características necesarias que lo lleven a ser catalogado como una alternativa para la elaboración de productos alimenticios e industriales.

El contenido de almidón presente en la muestra analizada es el 98.21 %, superior al almidón de yuca, este resultado nos indica que el método empleado para la extracción es eficiente, por ello podría representar un gran potencial a nivel industrial dado por su alto rendimiento.

Las dos muestras indican ausencia de microorganismos, tomando en cuenta que el porcentaje de humedad del almidón de achira (Chuno) es más elevado que el de la yuca.

El valor del contenido de amilosa en un almidón es el factor determinante para la calidad de los alimentos terminados, favoreciendo una mayor solubilidad, viscosidad, claridad del engrudo y mayor tendencia a la retrogradación de los geles.

*Palabras clave:* almidón, achira, caracterización fisicoquímica.

---

## Utilización del epicarpio de la manzana (*Pyrus malus linnaeus*) como materia prima para la obtención de harina

*Delia Noriega Verdugo*<sup>1</sup>, *Geovanny Morocho*<sup>2</sup>, *César Fabricio Pacheco*<sup>2</sup>, *Ana Paola Echavarría*<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

<sup>2</sup>Universidad de Guayaquil, Ecuador

\*aechavarriav@unemi.edu.ec

### Resumen

La cáscara de manzana es un residuo agrícola muy común generado por las industrias de alimentos. Debido a esto surge la propuesta de la utilización de este desecho para la obtención de harina contra su habitual eliminación en el ambiente, o su uso como alimento para ganado o abono.

Previo a la obtención del producto se efectuaron pruebas con diferentes conservantes naturales y artificiales, se seleccionó el método a seguir y con los equipos adecuados se ejecutaron varias operaciones unitarias, como: secado, molienda y tamizado.

La cáscara de manzana es llevada a un escaldado para eliminar los microorganismos patógenos. Posteriormente al choque térmico, para contrarrestar la oxidación, se utilizó una inmersión en jugo de naranja y se procedió al secado hasta obtener la humedad deseada, después se pasó por un molino de martillo y fue tamizado. Finalmente, la harina se envasó en bolsas de polipropileno y se almacenó a temperatura ambiente.

Se caracterizó el producto con referencia a la norma “NTE INEN 616:2015, harina de trigo, requisitos”, para la evaluación de algunos parámetros al no contar con una norma específica para la harina de epicarpio de manzana.

En los resultados de los análisis fisicoquímico y microbiológico de la harina se aprecia el alto contenido de fibra, importante para procesos metabólicos como la digestión.

Por sus propiedades nutricionales se sugieren varias aplicaciones para el producto, en la preparación de bebidas como

colada, panadería y pastelería, sustituyendo solo parcialmente la harina de trigo.

*Palabras clave:* antioxidante, fibra residuo agrícola, secado, tamizado.

## **Análisis de las características físicas de las cáscaras de frutas como residuo valorizable**

*Danya Katherine Jurado Erazo, Laura Liliana Cañaverall*

*González, Ana Sofía Franco Pérez, Andrés Felipe Rojas González\**

Grupo de Investigación en Aprovechamiento de Residuos, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Dirección Institucional

\*anfrojasgo@unal.edu.com

### **Resumen**

Las cáscaras de frutas son un residuo generado en la industria colombiana, las cuales en su mayoría son llevadas a rellenos sanitarios, solo una pequeña parte es empleada en la obtención de piensos y abonos orgánicos. El objetivo de este trabajo es analizar las características físicas de 12 cáscaras de frutas, las cuales se consideran como un residuo generado durante el cultivo y procesamiento agroindustrial. Las cáscaras analizadas provienen de las siguientes 12 frutas: aguacate, banano, coco, granadilla, guanábana, mango, maracuyá, melón, naranja, papaya, piña y zapote. Estos estudios se obtuvieron en centrales de abasto y tiendas de frutas y verduras en la ciudad de Manizales, capital del departamento de Caldas, Colombia. Estas cáscaras se caracterizaron respecto a propiedades como: el espesor empleando un calibrador, la dureza utilizando un durómetro, la densidad por medio del método de Arquímedes, y el color a través de la comparación con tablas de madurez reportadas en la literatura. Cada una de estas características se midió para cinco cáscaras obtenidas de frutos diferentes,

de las 12 frutas seleccionadas en este trabajo. Se encontró que las cáscaras de las frutas analizadas presentan un espesor que varía entre  $0,08 \pm 0,01$  cm a  $0,80 \pm 0,24$  cm, una dureza en el rango de  $7,90 \pm 0,56$  kg/cm<sup>2</sup> a  $24,00$  kg/cm<sup>2</sup>, una densidad con valores entre  $0,94 \pm 0,02$  g/ml a  $0,98 \pm 0,08$  g/ml, en una variación de color con tonos entre marrón, pasando por amarillento, hasta tonos verdosos. En conclusión, las características físicas que se determinan para las cáscaras de frutas permiten tener un mejor panorama de las posibles formas de aprovechamiento de estos residuos, como la extracción de pigmentos, los cuales son característicos del color de las cáscaras. Estos residuos también se pueden aprovechar como materia prima para la obtención de madera plástica y carbón activado, como es el caso de la cáscara de coco.

*Palabras clave:* cáscaras de frutas, características físicas, valorización de residuos.

## Evaluación de las características físicas de semillas de frutas como residuos aprovechables

*Yanela Alexandra Tulcán Cuasapud, Angélica*

*María Ruiz Rodríguez, Diego Andrés Orrego*

*Grisales, Andrés Felipe Rojas González\**

Grupo de Investigación en Aprovechamiento de Residuos, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Campus La Nubia, vía al Aeropuerto La Nubia

\*anfrojasgo@unal.edu.co

### Resumen

El objetivo de este trabajo es evaluar las características físicas de 9 semillas de frutas, que se desechan como residuos al ser consumidas, para establecer posibles aprovechamientos. Las 9 semillas provienen de las frutas de aguacate, granadilla,

guanábana, guayaba, mango, maracuyá, melón, papaya y zapote. Las semillas de frutas se obtuvieron de centrales de abastos de la ciudad de Manizales, capital del departamento de Caldas, Colombia. Estas semillas se caracterizaron respecto al índice de generación de residuos, longitudes características (largo, ancho y espesor), diámetro geométrico, diámetro de Feret, esfericidad, peso, volumen y densidad, estas tres últimas propiedades se determinaron para las semillas individuales y a granel. Para la medición de las propiedades individuales o propiedades de partícula, se tomaron al azar 5 semillas de cada fruta, excepto para el aguacate y el mango. En este trabajo se encontró que el índice de generación de residuos de las semillas está entre 2.08, para las semillas de melón, y 13.95 % para la semilla de aguacate, el diámetro geométrico varía entre 0.30 y 4.21 cm, y el diámetro de Feret entre 0.45 y 8.54 cm, donde la semilla de guayaba presenta el menor valor y el mango el mayor valor, tanto en el geométrico como en el de Feret. Para la esfericidad de las semillas se encontró que este parámetro varía entre 0.42 (semillas de melón) y 0.91 (semillas de aguacate), la densidad de partícula está entre 0.84 g/mL (semilla de mango) y 1.43 g/mL (semillas de aguacate), mientras que la densidad a granel tiene una variación entre 0.92 g/mL (semillas de guayaba) y 1.25 g/mL (semillas de maracuyá). Al analizar las propiedades físicas evaluadas, una de las posibles alternativas para el aprovechamiento de semillas es su incorporación a lechos filtrantes, debido a que el diseño de estos involucra propiedades como la esfericidad, densidad y diámetro geométrico. Por otra parte, el índice de generación de residuos de las semillas muestra la generación de residuos por fruta procesada, donde las frutas con mayores valores de este parámetro se pueden destinar en la extracción de aceites, pigmentos y colorantes, producción de carbón activado y fabricación de biocombustibles.

*Palabras clave:* semilla de frutas, residuos agroindustriales, propiedades físicas.

## Determination of suitable thin-layer drying models for noni (*Morinda citrifolia* L.)

*Francisco Canelo, Kevin Gutiérrez, Apolinar Picado, Rafael Gamero\**

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI),  
Avenida Universitaria, Managua 11127, Nicaragua  
\*picado@kth.se

### Abstract

Mathematical models of thin-layer drying for noni (*Morinda citrifolia* L.) were studied and verified with experimental data. Eighteen (18) thin-layer drying models were compared according to three (3) statistical parameters (i.e., correlation coefficient, root mean square error, and chi ( $\chi^2$ )-square). The thin-layer drying kinetics of noni was experimentally investigated in a laboratory tunnel dryer and the mathematical modelling, using thin-layer drying models present in the literature, was performed. The effect of drying air temperature (50, 60 and 70 °C) and airflow velocity (1, 1.5, and 2 m/s) was studied. From the drying rate curves, only a falling rate period was observed. The moisture content of noni decreased continually with drying time. As expected, an increase in the drying air temperature reduces the time required to reach any given level of moisture content since the heat transfer increases. This can be explained by the increasing temperature difference between the drying air and the noni and the resultant moisture (water) migration. The experimental drying data of noni were used to fit the different thin-layer models, then drying rate constants and coefficients of models tested were determined by nonlinear regression analysis using MatLab's Curve Fitting tool. As for all the drying models, the Alonso model was superior and best predicted the experimental values. Therefore, this model can be used to facilitate dryer

design and promote efficient dryer operation by simulation and optimisation of the drying processes.

*Keywords:* *Morinda citrifolia*, mathematical modelling, thin-layer drying, regression analysis

## Reaction kinetics between *Moringa* leaf extracts and DPPH free radical

*Geniel Talavera, Kenia Martínez, Apolinar Picado\*, Juan Alonso*

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI),  
Avenida Universitaria, Managua 11127, Nicaragua

\*picado@kth.se

### Abstract

Food antioxidants are important for human nutrition, decreasing oxidative damage to lipids, proteins, and nucleic acids induced by free radicals. *Moringa oleifera* Lam. is an important source of natural antioxidants. In this work, an antioxidant-rich extract was obtained by lixiviation of *Moringa* leaves, and its activity against the free radical 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) was measured by determining a second-order reaction rate constant ( $k_2$ ). The reaction between the antioxidant-rich extract and DPPH was monitored by measuring the decrease in absorbance at 517 nm in 30 s intervals for a period of 600 s, to subsequently calculate the reaction rate constant. The absorbance exhibits a rapid decay within the first 100 s, followed by a slower decay. This phenomenon occurs due to the mixture of different antioxidant compounds within the extract and the reaction rate for each one. The absorbance and time data were fitted to a bi-exponential model. Data fitting results showed coefficient of determination values greater than 0.9979, and a linear relationship between the initial concentration of antioxidants and the reaction rate. The  $k_2$  values are about

$0.0870 \pm 0.0007$  mg/mL. This result indicates that *Moringa* leaves can be used as an antioxidant source of good reactivity with a high potential to be used in the food industry as well as a substitute for synthetic antioxidants, such as BHT and BHA.

*Keywords:* Moringa oleifera Lam., antioxidant, leaching, rate constant.

## Potencial biotecnológico de cepas *Saccharomyces cerevisiae* colombianas para la producción de alcoholes usando hidrolizados lignocelulósicos

Margareth Andrea Patiño Lagos, Yenny Paola Morales  
Cortés, Diana Carolina Tusso Pinzón, Angela María  
García Acero, Mario Enrique Velásquez Lozano\*

Grupo de Investigación en Procesos Químicos y Bioquímicos, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

\*mapatinol@unal.edu.co

### Resumen

La biomasa lignocelulósica es una materia prima de gran interés, debido a su abundancia en la naturaleza. Uno de los aspectos importantes en la utilización de esta biomasa como materia prima es la cantidad disponible en azúcares, tanto hexosas como pentosas. Esta materia prima sirve como sustrato para la fermentación de microorganismos, principalmente levaduras. Algunos factores pueden afectar el eficiente uso de los azúcares presentes en la biomasa lignocelulósica por parte de cepas de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, como lo son: su incapacidad de fermentar xilosa y la presencia de sustancias inhibitoras que pueden afectar su metabolismo.

En este estudio se evaluó la asimilación de azúcares presentes en hidrolizados lignocelulósicos y la producción de alcoholes como xilitol y etanol en cepas de la levadura

*Saccharomyces cerevisiae* aisladas por el grupo de investigación en el municipio de Puerto López (Meta, Colombia). Los hidrolizados lignocelulósicos constituidos por glucosa (50 g/L), xilosa (20 g/L) y compuestos tóxicos a la fermentación como el ácido acético (6 g/L), el hidroximetilfurfural (0,1 g/L) y el furfural (1 g/L), fueron obtenidos a partir de bagazo de caña de azúcar por hidrólisis ácida. Los resultados mostraron que las cepas nativas realizaron procesos fermentativos en la presencia de estos inhibidores, evidenciando de manera relevante el consumo de xilosa, característica poco común en esta especie de levaduras. La capacidad de estas cepas para transformar los azúcares presentes en los hidrolizados lignocelulósicos, incluyendo la xilosa, confirmaron el gran potencial de la biodiversidad colombiana y el posible uso de estas cepas a nivel industrial.

*Palabras clave:* *Saccharomyces cerevisiae* nativas, hidrolizados lignocelulósicos, xilitol, etanol.

---

## Evaluación de la fermentación láctica aplicada a la obtención de una base para productos probióticos a partir de frijol caupí (*Vigna unguiculata*)

*Leinis León, Johana Herrera, Carlos Quintero, Yuslevis Torres, Marta Cuenca\**

<sup>1</sup>Grupo de Investigación de Nanomateriales e Ingeniería de Procesos Asistida por Computador - NIPAC, Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena, avenida del Consulado, calle 30 # 48-152, bloque D, piso 3, Campus Piedra de Bolívar, Cartagena, Bolívar

\*mcuencaq@unicartagena.edu.co; cuencaquicazan@gmail.com

### Resumen

Los microorganismos probióticos mejoran la salud de las personas de diferentes formas, entre ellas la disminución del

crecimiento de bacterias patógenas en el tracto intestinal, y la producción de metabolitos benéficos como los ácidos grasos de cadena corta que disminuyen el riesgo de diferentes enfermedades no transmisibles. Los alimentos fermentados son un buen medio para los probióticos y sus metabolitos. Las leguminosas como el fríjol caupí (*Vigna unguiculata*), representan una fuente alternativa de proteínas, sobre todo en regiones en las cuales la carne y los alimentos lácteos no son accesibles física o económicamente. Además de su tradicional forma de consumo, también se procesan como bebidas de semillas como sustituto de las leches animales. La Universidad de Agricultura y Tecnología Jomo Kenyatta de Kenya (Onyango, 2021), reportó el estudio sobre la implementación de las bacterias probióticas en el proceso de fermentación de la leche de fríjol caupí, basados en la aceptabilidad de los productos fermentados y los cambios en las características fisicoquímicas y microbianas durante el almacenamiento. Ese estudio llevó a cabo el proceso de fermentación utilizando un cultivo mixto a 45 °C durante 14 horas. La población de bacterias en la bebida fermentada de fríjol caupí alcanzó más de 10<sup>6</sup> UFC/ml.

En el presente estudio se evaluó la aplicación de procesos fermentativos para la obtención de un producto vegetal con beneficios probióticos, mediante el uso de fríjol caupí (*Vigna unguiculata*), en términos de las características fisicoquímicas y microbianas de los productos al final de la fermentación, la cual se llevó a cabo a 42 °C y 8 horas utilizando el cultivo comercial Choozit MY 800, marca Danisco (Francia), el cual contiene *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis*. Se utilizó la siguiente relación de fríjol: agua de 1:6 (p:p). Las muestras fermentadas experimentaron una disminución de pH desde 7 a 4.8. Esto se debió a que las bacterias ácido-lácticas degradaron los carbohidratos presentes, dando lugar a la acidificación a través de la formación de ácido láctico. Esto se verificó realizando la determinación de la acidez titulable expresada como ácido láctico de 0.63 % (p/V). El recuento

de bacterias alcanzó más de  $10^4$  UFC/ml, que es inferior a la población bacteriana recomendada para un producto probiótico. El análisis proximal de la muestra se llevó a cabo y se obtuvieron los resultados de humedad, grasa total, contenido de fibra y cenizas, de acuerdo con los métodos oficiales 925.10, 920.85, 962.09 y 923.03 de la AOAC. La proteína total se determinó mediante el método ISO 1871:2009 (Kjeldahl). La concentración de carbohidratos se determinó mediante la diferencia. El contenido de humedad fue de 92.1 % al final del proceso fermentativo, el contenido de proteína fue de 2.7 %, la fibra cruda  $< 0.1$  %, el contenido de cenizas fue de 0.4 % y los carbohidratos totales 4.8 %. Se puede concluir que es posible llevar a cabo la fermentación láctica de una bebida a base de fríjol caupí utilizando un cultivo comercial. Se recomienda disminuir la relación de fríjol:agua, así como también aumentar la concentración inicial de cultivo para llevar a cabo la fermentación, con el fin de que el producto sea una alternativa no láctea similar a un yogurt.

*Palabras clave:* fermentación láctica, fríjol caupí, yogurt, Vigna unguiculata.

## Producción de biomasa con *Candida sorboxilosa*, a partir de mucílago fermentado de café, utilizando el diseño Plackett-Burman

*Omar S. Pillaca Pullo\**, *Waldir Estela Escalante*

Laboratorio de Bioprocesos y Tecnología de Fermentación, Facultad de Química e Ingeniería Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, avenida Germán Amezaga 375, Lima 1, Perú

\*omar.pillaca@unmsm.edu.pe; omarspp24@hotmail.com

### Resumen

La producción de café es una actividad agroindustrial importante en Colombia, Brasil y Perú. Su procesamiento incluye la fermentación, etapa importante que se realiza con la finalidad

de eliminar el mucílago que rodea las semillas. Sin embargo, durante esta etapa se generan cantidades considerables de aguamiel, el cual vertidas al lecho de riachuelos o terrenos aledaños a las plantaciones de café modifican el pH, impactando negativamente dicho ecosistema. Una alternativa tecnológica interesante es utilizar dichos residuos en la producción de biomasa microbiana para ser utilizada como complemento alimenticio de animales domésticos. El aguamiel de café contiene una fracción importante de fuente de carbono que incluyen azúcares fermentables residuales, alcoholes y otros subproductos de la fermentación. Las levaduras son capaces de utilizar dichos compuestos como fuente energética para su crecimiento. La biomasa de levadura es una fuente de proteína (*Single Cell Protein*) utilizada desde hace mucho tiempo en la alimentación humana y animal. En este estudio se utilizó aguamiel o mucílago fermentado de café en la formulación de un medio de cultivo destinado a la producción de biomasa, utilizando *Candida sorboxilosa*, una levadura poco estudiada. Con la finalidad de determinar los componentes más importantes para el crecimiento se utilizó un diseño Plackett-Burman. Los experimentos se llevaron a cabo en matraces Erlenmeyer bajo régimen de agitación constante a temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2$ ). Entre los componentes evaluados se incluyeron porcentaje de mucílago, extracto de levadura, peptona,  $\text{NH}_4(\text{H}_2\text{PO}_4)$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{MnSO}_4$ . Como resultado del tamizaje de variables se determinó que el mucílago, extracto de levadura y  $\text{NH}_4(\text{H}_2\text{PO}_4)$  fueron las más significativas para el crecimiento de *Candida sorboxilosa*. Así, se obtuvo una producción de biomasa de 4,38g/L en 20 horas de cultivo. Subsecuentemente se evaluó el impacto de estas tres variables, resultando la proporción de aguamiel como la más importante para el crecimiento de la levadura. A partir de los resultados obtenidos en este estudio se propone

al aguamiel como un residuo con alto potencial para ser usado en la producción de biomasa, a partir de *Candida sorboxilosa*.

*Palabras clave:* aguamiel, *Candida sorboxilosa*, biomasa microbiana, Plackett-Burman.

## Starches from Potatoes Surplus: Effect of the Application of High Shear Homogenization Treatments

*Alex López Córdoba\**

Grupo de Investigación en Bioeconomía y Sostenibilidad Agroalimentaria.  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad Seccional  
Duitama. Escuela de Administración de Empresas Agropecuarias. Carrera 18  
con Calle 22 Duitama, Boyacá, Colombia.

\* alex.lopez01@uptc.edu.co, alexlcordoba@gmail.com

### Abstract

Starches are appealing materials for many foods, pharmaceutical, biomedical, and cosmetic applications because are abundant, biocompatible, non-toxic, and cheap. This natural polymer could be isolated from several natural sources such as cassava, potato, corn, wheat, rice, and yam. Potato ranks third in importance as a foodstuff after rice and wheat in the world. In Colombia, this tuber has an important role in food security and the rural economy. However, 90% of the potato is marketed fresh and there are few alternatives for adding value to this raw material. This generates high volumes of unmarketable potato surpluses and postharvest losses. In the current work, starches were obtained from potatoes surplus (*Solanum tuberosum L.*) variety Suprema with an isolation yield of 11%. Scanning electron microscopy analysis showed that the native granules showed an average granule size of  $32 \pm 9$   $\mu\text{m}$  and a roundness of  $0.7 \pm 0.1$  (i.e., an ellipsoidal shape). To study the effect of the application of high shear homogenization

treatments on the size and morphology of starch granules, dispersions with different starch concentrations (10, 20, and 30 g/100 mL) were prepared and sheared for 5 min at 8000 rpm under room conditions using a high-speed shear homogenizer. After shearing, the granules showed average sizes of  $25\pm 16$   $\mu\text{m}$ ;  $29\pm 13$ ; and  $23\pm 7$ , for the dispersions with starch concentration at 10, 20, and 30 g/100 mL, respectively. Besides, all samples showed a slight increase in the roughness ( $0.8\pm 0.1$ ). These changes were probably due to that the shearing could be caused disintegration and fragmentations of starch granules. Other studies are being carried out to determine the effect of the shearing treatment on the technological properties of the new starches obtained.

*Keywords:* Agricultural by-products, Biopolymers, Circular economy, Value addition.

## Modelamiento molecular aplicado a la cinética de degradación de contaminantes orgánicos mediante el proceso de foto Fenton

*Miguel Ángel Carrillo Hernández, Wilson Hideki Hirota\**

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Concytec

\*miguelangel.carrillo@unmsm.edu.pe

### Resumen

Dentro de los contaminantes orgánicos se encuentran las sustancias farmacológicas, como los antibióticos, y en especial la amoxicilina, la cual llega a ser considerada dentro de los contaminantes denominados emergentes, debido a su paulatino impacto que está generando en las aguas superficiales y subterráneas. Este medicamento presenta una estructura

estable, lo cual dificulta su tratamiento por los métodos convencionales existentes. Por ello, un método que muestra resultados alentadores en su tratamiento es la técnica foto Fenton perteneciente a los procesos de oxidación avanzada.

Por otro lado, debido al avance de la tecnología computacional de hoy en día, existen equipos y *software* en los cuales se puede plantear el modelamiento molecular de la reacción de degradación de la amoxicilina para evaluar los parámetros cinéticos de dicha reacción. Estas herramientas son importantes para la ingeniería química, así como otras disciplinas.

El objetivo principal es, por tanto, la aplicación del modelado molecular de la reacción de la degradación de la amoxicilina mediante el proceso foto Fenton para determinar los parámetros cinéticos de dicha reacción. Como objetivos específicos se señalan las etapas involucradas en el modelamiento molecular, así como las reacciones involucradas que se puedan generar en el proceso oxidativo mencionado. Por otro lado, se evalúa el impacto que puedan generar estas reacciones secundarias sobre los organismos.

*Palabras clave:* modelamiento molecular, cinética, amoxicilina, foto Fenton, contaminante emergente.

---

## Valorization of Potato Processing By-products (Peels and Bagasse) by Its Transformation into Powdered Ingredients for Food Applications

Alex López Córdoba\*

Grupo de Investigación en Bioeconomía y Sostenibilidad Agroalimentaria. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad Seccional Duitama. Escuela de Administración de Empresas Agropecuarias. Carrera 18 con Calle 22 Duitama, Boyacá, Colombia.

\*alex.lopez01@uptc.edu.co

### Abstract

Potato industries generate a great amount of processing by-products which are usually discarded or used as animal feed such as peels and bagasse (i.e., a by-product of starch isolation from potatoes). These by-products are a source rich in starch, dietary fiber, cellulose, and protein. Besides, potato peels have been considered a rich source of phenolic compounds, which have been related to human health benefits, including antioxidant properties. In the current work, powdered ingredients for food applications were obtained by air drying of potatoes peels and bagasse. Surplus of potatoes (*Solanum tuberosum L.*) variety Suprema were conditioned and manually peeled with a kitchen knife. The potatoes peels were dried at 40 °C for 24 h, milled and sieved. Also, starch was isolated from potato flesh and the resulting byproduct (i.e., bagasse) was dried, milled and sieved, under similar conditions that potato peels. The powdered ingredients obtained were characterized in terms of their moisture content, water activity and color attributes (L\* (lightness), a\* (green-redness) and b\* (blue-yellowness)). Powders based on potato peels and bagasse showed percentages of moisture content of 2.8 and 9.9, respectively. The water activity was ~0.21 for potato peel powder and ~0.35 for bagasse powder. These results are suitable to prevent microbial proliferation of the products. As

expected, potato bagasse powders showed higher lightness ( $L^*=84$ ) than the potato peel ones ( $L^*=51$ ). Besides, these last powders showed higher values of  $a^*$  and  $b^*$  ( $a^*=10.3$ ;  $b^*=14.7$ ) than the potato bagasse powders ( $a^*=5.7$ ;  $b^*=7.6$ ). These results could be valuable from the industrial point of view because constituted an alternative to added value to potato processing byproducts transforming into new ingredients that can be potentially used in innovative food formulations.

*Keywords:* Potatoes by-products, Food Ingredients, Agroindustry, Value addition.

---

## Oportunidades de la ingeniería química en el desarrollo de insumos agropecuarios, con énfasis en bioinsumos

*Julieth Angélica Lara Díaz*

Ingeniera Química Universidad Industrial de Santander, Subdirección Científica y Desarrollo de Nuevos Productos – Agrotecnia  
\*angelica.lara@agrotecniaob.com

### Resumen

El sector agropecuario es estratégico para la soberanía de un país, al ser fuente de alimentos y materias primas requeridos para garantizar las necesidades básicas. La cadena productiva de agroquímicos comprende cuatro actividades: 1) la producción de productos intermedios para fertilizantes; 2) abonos y fertilizantes; 3) elaboración de plaguicidas; 4) herbicidas y reguladores biológicos.

Los insumos son cruciales para mantener la producción agropecuaria, pues en el caso de cultivar sin la aplicación de estos, se impactaría en los rendimientos de las cosechas hasta un 75 % menos, dependiendo del tipo de terreno, el cultivo y la rotación que haya habido en años anteriores.

Durante el último año, los agricultores han visto afectados sus costos de producción, debido al alza en los precios de los agroinsumos. Entre los múltiples factores que han impactado está el incremento de los precios internacionales de las materias primas y de los hidrocarburos, especialmente del gas; la devaluación del peso respecto al dólar; y el aumento de los costos en los fletes marítimos, ocasionados por los protocolos implementados en los puertos y navieras debido al covid-19. Estos incrementos generan un impacto directo en los precios mundiales de los alimentos; según los datos reportados por la FAO, en septiembre pasado el índice de precios de los alimentos se situó en 1.2 % más que en agosto, y 32.8 % más que en el mismo mes del año pasado.

Con el aumento de la población mundial, la necesidad de producción de alimentos, la demanda de energía y la lucha por la conservación de la biodiversidad, se presentan retos globales que conllevan a desarrollar estrategias en bioeconomía para un mundo más sostenible que contribuya a la seguridad alimentaria, el desarrollo económico sostenible, la creación de nuevos perfiles y puestos de trabajo, la percepción del fin de la economía derivada del petróleo y la necesidad de garantizar la continuidad del suministro de combustibles, la reducción del impacto en el cambio climático minimizando la emisión de gases con efecto invernadero y la contribución a los desafíos de las sociedades actuales.

Colombia no es ajeno a estas dinámicas, y siendo el segundo país con mayor biodiversidad en el mundo tiene el interés en el marco de la estrategia de crecimiento verde, con el fin de definir una agenda de trabajo para la bioeconomía que permita generar nuevas palancas de crecimiento económico basados en el capital natural como fuente para nuevas industrias. El sector agrícola y pecuario hace parte de la primera fase de segmentos potenciales para dinamizar la bioeconomía, con I&D de agroinsumos orgánicos, donde se reduzcan los costos de producción y, a su vez, se protejan los suelos de alteraciones químicas negativas.

El mercado de los bioinsumos abarca los productos capaces de incidir en el manejo integrado de plagas o en la mejora de la productividad de los cultivos y el suelo; ello se logra a partir de microorganismos vivos, virus, macroorganismos, productos de ocurrencia natural o productos bioquímicos, que pueden clasificarse como biofertilizantes (bioabonos o inoculantes biológicos), o biocontroladores (agente microbial para control de plagas, macroorganismos, extractos vegetales, productos bioquímicos), encontrando en todos ellos oportunidades de producción industrial impulsado por los conocimientos de la ingeniería química, aportando a la necesidad existentes en el manejo integrado de cultivos. Actualmente, por ejemplo, alrededor de 3000 compuestos naturales de origen vegetal han sido reportados mostrando actividad bactericida, fungicida, insecticida, repelente y nematicida, lo que demuestra la alta potencialidad existente en el país.

*Palabras clave:* bioinsumos, bioeconomía, biodiversidad, extractos vegetales.

---



## Simulación de procesos y diseño asistido por computadora (CAD)

La simulación de procesos y el diseño asistido por computadora (CAD, por sus siglas del inglés: *Computer Aided Design*) son dos tecnologías clave en la industria y la academia. Mientras que la simulación de procesos permite a los ingenieros modelar y analizar sistemas complejos, el CAD permite a los diseñadores crear modelos virtuales de productos y sistemas. La simulación de procesos se utiliza para explorar diferentes situaciones de construcción innovadoras y optimizar los tiempos de producción, aumentar la calidad y fiabilidad del diseño, así como analizar los puntos críticos del proceso para reducir posibles defectos. Además, estas herramientas facilitan el aprendizaje y la enseñanza de fenómenos físicos y químicos, como los fenómenos de transporte, balances de masa y energía acoplados a un equilibrio de fases, efectos fotocatalíticos y propiedades. Por otro lado, el CAD es una herramienta de diseño utilizada por ingenieros y diseñadores para crear modelos virtuales de productos y sistemas. Estas herramientas permiten a los diseñadores y fabricantes diseñar y probar prototipos digitales antes de crearlos físicamente, lo que

reduce los costos y el tiempo de desarrollo. Además, el CAD también permite a los diseñadores crear modelos detallados de componentes y sistemas complejos, como motores, sistemas de tuberías, aviones y edificios. Estos modelos pueden ser utilizados para simular el rendimiento y la funcionalidad de los sistemas, lo que ayuda a los ingenieros a tomar decisiones informadas sobre los diseños y a optimizar el rendimiento. Por ello, tanto la simulación de procesos como el CAD, son herramientas vitales en la industria y la academia. Permitiendo a los ingenieros y diseñadores crear modelos virtuales de productos y sistemas, lo que reduce los costos y el tiempo de desarrollo, y también ayuda a mejorar la calidad, fiabilidad y rendimiento de los diseños.

## Prefactibilidad técnica, económica y ambiental del aprovechamiento energético de la cáscara de coco

*Leidy Maribel Pinchao Cuatín, Manuela Vélez*

*Castro, Andrés Felipe Rojas González\**

Grupo de Investigación en Aprovechamiento de Residuos, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Campus La Nubia, vía al Aeropuerto La Nubia

\*anfrojasso@unal.edu.com

### Resumen

La gestión de residuos de frutas constituye un problema económico y medioambiental significativo para las empresas que procesan alimentos a base de frutas, por ello, poco a poco se ha ido incursionando en la valorización de estos residuos. Los métodos convencionales de aprovechamiento como el compostaje o alimentación animal no resultan económicamente atractivos. Este artículo se centra en la valorización de la cáscara de coco mediante dos métodos: la combustión para generar electricidad y la pirólisis para la producción de

biocarbón, bioaceite y biogás. Cada proceso fue analizado para determinar su prefactibilidad técnica, económica y ambiental. Para la simulación de estos dos procesos, la prefactibilidad técnica se llevó a cabo con el *software* Aspen Plus V8.8, la estimación de propiedades se realizó por medio de la ecuación cúbica de estado Redlich-Kwong-Soave con la función alfa de Boston-Mathias (RKS-BM), la conversión térmica se llevó a cabo en reactores estequiométricos y de rendimiento, la prefactibilidad económica se determinó mediante una estimación de costos obtenida con la ayuda de la herramienta disponible en Aspen Plus, conocida como Aspen Process Economic Analyzer (APEA), mientras que la prefactibilidad ambiental se realizó mediante el análisis WAR, considerando el impacto ambiental según las categorías atmosférica global y toxicológica global. Se encontró que en la combustión de las cáscaras de coco se obtienen 23 kWh de electricidad por cada 100 kg de materia prima. Además de la producción de energía, el proceso de pirólisis presentó rendimientos del 21 % en biocarbón, 52 % en biogás y 27 % en bioaceite. Estos productos se pueden utilizar en lugar de los combustibles fósiles, lo que resulta en una reducción neta de las emisiones de dióxido de carbono. Para el biocarbón es necesario medir el poder calorífico para su aprovechamiento como combustible sólido, mientras que el biogás se puede usar como combustible en calderas, en motores o turbinas para generar electricidad. Económicamente el proceso de pirólisis presenta una mayor ventaja frente a la combustión, dado que en la pirólisis el valor de los productos es mayor que el valor de la electricidad que se genera a partir de la combustión. Ambientalmente la cáscara de coco presentó impactos mínimos en todas las categorías del análisis WAR. En general, la producción de bioenergía a partir de biomasa se considera neutra en carbono si se realiza de forma sostenible, pues el

CO<sub>2</sub> liberado a la atmósfera durante el uso del producto es atrapado durante el crecimiento de las plantas.

*Palabras clave:* cáscara de coco, combustión, pirólisis, simulación de procesos.

## Simulation of a continuous fluidised bed dryer for paddy grain

*Apolinar Picado, Rafael Gamero\**

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI),  
Avenida Universitaria, Managua 11127, Nicaragua

\*picado@kth.se

### Abstract

In this study, a mathematical model to simulate the drying of paddy (*Oryza sativa* L.) in a continuous plug-flow fluidised bed dryer is presented. Equipment and material models were applied to describe the process. The equipment model was based on the differential equations obtained by applying mass and energy balances to each element of the dryer. In the case of the material model, mass and heat transfer rates in a single isolated particle were considered. Mass and heat transfer within the particles was described by analytical solutions with constant effective transport coefficients. To simulate the dryer, the material model was implemented in the equipment model to describe the whole process. Calculation results were verified by comparison with experimental data from the literature. There was very good agreement between experimental data and simulation. The effects of gas temperature and velocity, particle diameter, dry solid flow and solid temperature on the drying process were investigated. An increase in gas temperature induces faster drying. As the particle diameter was increased, the drying process slowed down. Larger particles contain much longer diffusional paths within the solid, thus increasing internal resistance against mass transfer. It was

found that the changes in gas velocity, dry solids flow, and the solid temperature had essentially no effect on the drying process. The present model could be a useful tool for process exploration and optimisation of this type of dryer.

*Keywords:* Paddy, Fluidised bed dryer, Plug-flow, Modelling.

## Evaluación de la transferencia de masa de un colorante e intensidad de radiación en un reactor foto electrocatalítico: una aproximación computacional

*Daniel Borrás<sup>1</sup>, Juan Pablo Cortés<sup>2</sup>,  
Wilber Silva<sup>2\*</sup>, Dora Carmona<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigaciones Ambientales, Programa de Ingeniería Química, Universidad Pontificia Bolivariana, calle 1 # 70-01, Medellín, Colombia

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Óptica y Espectroscopía, Centro de Ciencia Básica, Universidad Pontificia Bolivariana, calle 1 # 70-01, Medellín, Colombia

\*wilber.silva@upb.edu.co

### Resumen

La fotoelectrocatalisis se ha destacado en los últimos años por su potencial aplicación en una gran diversidad de procesos, uno de los más relevantes es la degradación catalítica de contaminantes persistentes, se clasifica dentro de los procesos avanzados de oxidación en el tratamiento terciario de aguas residuales de la industria textil, debido a su alta capacidad de mineralización de colorantes. Para lograr aplicar la fotoelectrocatalisis en sistemas de tratamiento de aguas residuales, se requiere vencer limitaciones de diseño de fotoreactores, como son la distancia ( $\delta$ ) óptima entre la ventana de ingreso de radiación y el fotoelectrodo, la conformación geométrica del fotoelectrodo para maximizar la transferencia de masa, entre otros. En este trabajo se realiza un estudio computacional de un fotoreactor tubular para la degradación de un colorante

azoico, en el que se evalúa el efecto de la configuración geométrica del fotoelectrodo y  $\delta$  en la pérdida de intensidad de radiación (PIR) y el coeficiente de velocidad de transferencia de masa ( $k_m$ ) del colorante rojo reactivo 239 (RR239) hacia la superficie del electrodo.

Primero se varió el área superficial de dos configuraciones de fotoelectrodo denominadas malla expandida (EME) y malla tejida (EMT), mediante la abertura de malla ( $w$ ) se evaluó su influencia en  $k_m$  a velocidad de flujo constante de 0,004 m/s en régimen laminar (Reynolds 135-180). Luego, para cada configuración (EME y EMT) se varió  $\delta$  (1.4 y 10 mm) a velocidad de flujo constante de 0.004 y 0.02 m/s en régimen laminar (Reynolds 174-196) y turbulento (Reynolds 870-980), respectivamente, y se evaluó el efecto de  $\delta$  en  $k_m$  y PIR. Para la transferencia de masa se realizaron simulaciones en 3D de dinámica de fluidos computacional (CFD) de una disolución de agua y RR239 en ANSYS *Fluent*, empleando el modelo de Navier-Stokes para régimen laminar y  $k$ - $\epsilon$  con tratamiento mejorado de pared para régimen turbulento, suponiendo que la fracción másica del colorante en la superficie del electrodo es 0. Para el transporte de especies en régimen turbulento se calculó el número de Schmidt turbulento con el modelo de Kays-Crawford. La PIR se determinó mediante un modelo 1D de Beer-Lambert, teniendo en cuenta  $\delta$  como la distancia característica y un coeficiente de extinción determinado experimentalmente por UV-Vis.

Se encontró que al aumentar  $w$  y  $\delta$ , aumenta el  $k_m$  para ambas geometrías, logrando perfiles de concentración homogéneos cuando  $\delta$  es 10 mm, siendo  $k_m$  mayor en EMT que en EME; no obstante, se identificó que con un  $\delta$  de 10 mm la PIR aumenta significativamente en la región del visible (>80 %) y en el UV (>60 %) para aguas con una concentración de RR239 mayor a 60 mg/L. En conclusión, la configuración EMT muestra ser una geometría de soporte adecuada para aumentar el  $k_m$  incluso a bajos valores de  $\delta$ , siendo aplicable un  $\delta = 10$  mm para concentraciones menores a 10 mg/L, con

valores de PIR bajos (<15 %), mostrando así que este tipo de estudios computacionales permiten tomar decisiones de diseño preliminares para un reactor fotoelectrocatalítico.

*Palabras clave:* fotoelectrocatalisis, rojo reactivo 239, dinámica de fluidos computacional (CFD), Beer-Lambert, fotoreactor.

## Mejoras de desempeño de proceso de polimerización a través del diseño óptimo y el control avanzado

*Juan Miguel García Méndez<sup>1</sup>, Alneira Cuellar Burgos<sup>2</sup>,  
Ruben Acosta, Oscar Andrés Prado Rubio<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Grupo de Investigación en Aplicación de Nuevas Tecnologías - GIANT

<sup>2</sup>Grupo de Investigación de Polímeros y Materiales Compuestos

\*oaprador@unal.edu.co; oscarprado\_iq@yahoo.es

### Resumen

Diversos desechos producidos en la industria polimérica provienen de la reacción misma de la polimerización, generando productos fuera de especificación por cambios en variables del proceso o demanda de diferentes productos, implicando pérdidas de recursos, energía y potencial económico. La solución real de los problemas ambientales y técnicos en procesos de polimerización están lejos de ser resueltos, en consecuencia, es una necesidad reducir los productos fuera de especificación generados, ya que difícilmente pueden ser recuperados. Para mitigar esta problemática, el diseño del proceso debe considerarse desde una visión multiobjetivo, complementado con la implementación del control automático, en aras de reducir costos, tiempo de operación, energía, productos fuera de especificación, entre otros. Como caso de estudio se selecciona la reacción de polimerización de estireno por radicales libres

en reactores CSTR debido a su amplio mercado, además, la necesidad de controlar la viscosidad y temperatura para no afectar las propiedades mecánicas del producto final.

En este trabajo se busca analizar y mejorar el sistema de producción de estireno a partir de una perspectiva ingeniería de procesos (PSE). Inicialmente, se desarrolló una optimización multiobjetivo con optimizador local, con el fin de maximizar la productividad y minimizar los costos de operación (utilizando el criterio de la primera derivada para la selección de la zona óptima); posteriormente, estos valores óptimos son tomados como punto de partida para diseñar las estructuras de control. Seguidamente, se desarrolló y evaluó el desempeño de 2 estructuras de control para el proceso: control convencional Proporcional-Integral-Diferencial (PID) como línea base, y un *Linear Quadratic Regulator + Kalman Filter* (LQG), para realizar una aproximación desde control basado en modelos. En ambas estrategias se controlaron 4 variables: concentración de monómero (CM), temperatura (T), primer y segundo momento de la distribución del peso molecular (D1 y D2). Las simulaciones son realizadas en el *software* MATLAB/Simulink.

Los valores de la optimización fueron comparados con valores reportados en la literatura. Donde se observa que la productividad y costo de operación son aproximadamente 2 veces mayores que en el artículo citado. Se evaluaron cambios de *set point* de 2 % por encima del valor del estado estable para CM, T, D1 y D2, y se obtuvo tiempos de estabilización de 0.37, 3.5, 1 y 1.06-horas, en ese orden, con LQG y tiempos de estabilización de 0.4, 4.8, 4.7 y 9.4-horas, en ese orden, con PID. La relación de tiempo de estabilización de *set point* entre el control PID y LQG en promedio fue de 4 horas.

Se demostró que utilizando los valores óptimos en el proceso sin control automático llegan 2.5 veces más rápido al valor del estado estable, en comparación a si se utilizan los valores que reportan en la literatura para el proceso. Se demostró que el LQG es más rápido frente al PID, ya que este es entre 1.1-8

veces más rápido, estabilizando las respuestas para cambios en el *set point* (dependiendo de la variable que cambie).

*Palabras clave:* control, monómero, polimerización.

## Simulación dinámica de la adsorción de iones cromo (VI) en columna de lecho empacado con mesocarpio de cacao

Ángel González Delgado<sup>1</sup>, Ángel Villabona  
Ortiz<sup>2</sup>, Candelaria Tejada Tovar<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación de Nanomateriales e Ingeniería de Procesos Asistidos por Computadora - NIPAC, Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, avenida del Consulado, calle 30 # 48-152

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Diseño de Procesos y Aprovechamiento de Biomásas - IDAB, Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, avenida del Consulado, calle 30 # 48-152

\*ctejadat@unicartagena.edu.co

### Resumen

La presencia de metales pesados en el ambiente representa un problema de interés para la comunidad científica debido a su toxicidad, acumulación y persistencia. La bioadsorción permite el aprovechamiento de residuos agrícolas o industriales, es un método eficiente y no destructivo para la eliminación de metales pesados, convirtiéndolo en un método viable por su bajo costo y fácil implementación. La experimentación para evaluar columnas de adsorción en la remoción de iones metálicos en aguas residuales industriales suele ser muy costosos; por ello el objetivo del presente estudio fue modelar una columna a escala industrial para la adsorción de Cr (VI), presente en una solución acuosa sobre un adsorbente a base del mesocarpio de *Theobroma cacao L.* Se tuvo en cuenta los datos experimentales de procesos en sistema por lotes, donde se obtuvo que el modelo de isoterma que mejor ajusta el equilibrio de adsorción es el de Freundlich, también, se

reportó que los modelos de pseudoprimer y pseudosegundo orden ajustaron los datos cinéticos experimentales. La simulación de procesos y análisis de sensibilidad paramétrica, se realizó considerando el ajuste de los datos experimentales al modelo de isoterma de Freundlich y los modelos cinéticos de pseudoprimer y pseudosegundo orden, teniendo en cuenta el efecto del caudal sobre el perfil de la curva de ruptura, para realizar el escalamiento industrial de la columna de adsorción, apoyado en un análisis de sensibilidad paramétrica y una optimización de las columnas de adsorción asistido por computador, usando el *software* Aspen Adsorption V10.

*Palabras clave:* análisis de sensibilidad, análisis paramétrico, simulación, *Theobroma cacao* L.

## Multiplicidades y mínimo consumo de energía en la producción de bioetanol por destilación extractiva utilizando etilenglicol como solvente

César Augusto Sánchez Correa<sup>1\*</sup>, Jaime Eduardo Arturo Calvache<sup>1</sup>,  
Gerardo Rodríguez Niño<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Procesos de Separación no Convencionales, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Fundación Universidad de América, avenida circunvalar # 20-53, Bogotá, Colombia

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Procesos Químicos y Bioquímicos, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, carrera 45 # 26-85, Bogotá, Colombia

\*cesar.sanchez@profesores.uamerica.edu.co

### Resumen

Desde un punto de vista general, el proceso clásico de producción de bioetanol a partir de caña de azúcar puede dividirse en cuatro grandes etapas: pretratamiento, fermentación, pre-concentración y deshidratación. La etapa de deshidratación es la que más energía consume y puede realizarse utilizando

diversas tecnologías (e.g. tamices moleculares, destilación azeotrópica, destilación con cambio de presión, etc.), pero para procesos de gran escala la destilación extractiva con solventes pesados (e.g. glicerol, etilenglicol, etc.) sigue siendo la más utilizada en la práctica industrial. El proceso clásico de deshidratación de etanol por destilación extractiva es una secuencia de dos columnas acopladas por la recirculación de solvente entre ellas. Encontrar la configuración de la secuencia que minimiza el consumo de energía es uno de los problemas más relevantes, debido a la baja eficiencia termodinámica de los procesos de destilación.

Una dificultad inherente en el cálculo del consumo mínimo de energía (CME) es la posibilidad de obtener múltiples soluciones (i.e. multiplicidades) para las ecuaciones del modelo matemático. En este caso existen múltiples soluciones para el CME y, en consecuencia, resultará difícil garantizar la localización del mínimo global. En el tema particular de la deshidratación de etanol con etilenglicol por destilación extractiva no se encuentran reportes en la literatura sobre la existencia de multiplicidades. En el presente trabajo reportamos por primera vez que algunos conjuntos de especificaciones dan lugar a la ocurrencia de multiplicidades, y que es posible utilizar los grados de libertad en forma tal que exista una solución única. Este trabajo constituye un aporte en las técnicas de optimización de este tipo de procesos, porque establece las variables de optimización que deben usarse para evitar las multiplicidades. Los conceptos presentados son también aplicables a otros sistemas ternarios con la misma estructura de las curvas de residuo.

Los cálculos se realizaron en el simulador Aspen Plus V10® utilizando el modelo de equilibrio con módulos rigurosos Radfrac para representar las unidades de destilación. El equilibrio líquido-vapor se calculó con la ley de Raoult modificada, empleando el modelo NRTL para los coeficientes de actividad. El simulador se configuró en el modo orientado a ecuaciones y se usó la homotopía de Newton (tal y como está

implementada en el simulador) para trazar curvas paramétricas en función de uno de los grados de libertad. La existencia de varios ramales para las curvas paramétricas refleja la existencia de multiplicidades. Aplicando la idea principal del trabajo de Figueiredo *et al.*, se eligió como parámetro el contenido de solvente (i.e. la concentración de etilenglicol en el plato de alimentación de este), porque cuando las variables estructurales están fijas (i.e. número de etapas de las columnas y puntos de alimentación), entonces el CME puede calcularse en función del contenido de solvente.

En conclusión, en este trabajo se generalizó el método de De Figueiredo *et al.* para aplicarlo en el proceso clásico de deshidratación de etanol por destilación extractiva, y se encontró una formulación del problema de optimización del CME, ya que existe una solución única.

*Palabras clave:* bioetanol, etilenglicol, destilación extractiva, multiplicidades, optimización.

---

## Estudio del consumo energético de una línea de producción alternativa de antisépticos, en respuesta a la condición de pandemia covid-19

*Alexander García<sup>1</sup>\*, Duván Abril B.<sup>1</sup>, George Riaño<sup>1</sup>, Jeffrey León Pulido<sup>1</sup>, Rinaldo Vieira Da Silva Jr.<sup>2</sup>, Melvin Durán Rincón<sup>2</sup>, William Fajardo<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Ean, Bogotá, Colombia.

<sup>2</sup>Departamento de Química, Universidad Tecnológica de Pereira

<sup>3</sup>Departamento de Química, Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca

\*dabrilb05602@universidadean.edu.co

### Resumen

La crisis sanitaria de covid-19 reinventó la manera de producir en las industrias relacionadas con la fabricación de detergentes y cosméticos, la dependencia del cuidado aséptico en la interacción de trasladarnos, intercambiar objetos y hasta saludarnos. Este contexto describió la necesidad de recurrir a productos antimicrobianos como solución a la condición de pandemia y, en consecuencia, resultó en un crecimiento para la constitución de líneas de producción nuevas, o la transformación de producciones masivas de sanitizantes, demandando inversión en infraestructura, equipos, acondicionamiento de procesos y un gasto energético superior. Con el objetivo de entender a profundidad los procesos y estimar la demanda energética que conlleva la producción de un desinfectante con propiedades humectantes, el presente trabajo describe el estudio de caracterización energética aplicado en una compañía colombiana: JAB Factory, a partir de una metodología cuantitativa que permite identificar el flujo energético en el proceso de producción y envasado del producto. Un estudio de simulación en Aspen Plus® fue realizado y soportado en el modelo termodinámico NRTL para el equilibrio y herramientas de cuantificación energética, como *Energy Analyzer*.

A partir de la metodología fueron estimados los consumos energéticos de una línea de producción convencional, evaluando los consumos energéticos y condiciones de operación que inciden en la toma de decisiones para el consumo energético, condición de producción y puesta del producto en el mercado. Finalmente, el potencial de aprovechamiento energético se encuentra cerca al 8 % en relación con los flujos de energía asociados a la producción del desinfectante, y la capacidad de producción de 15 toneladas/h, distribuidas en 6 toneladas en semisólidos y 10 toneladas en líquidos, las cuales son aprovechadas en mezcladores de 6 toneladas de producción.

*Palabras clave:* energía, proceso, producción, sanitizante, simulación.

## Güecha: herramienta digital pedagógica para el conocimiento de explosivos

*Juan Francisco Dacundo Cárdenas<sup>1</sup>, Bradly Alejandro Martín Pinto<sup>1</sup>, Natalia Isabel Zamudio Muñoz<sup>2</sup>, Jeffrey León Pulido<sup>2\*</sup>*

<sup>1</sup> Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Ean, Bogotá, Colombia

<sup>2</sup> Programa de Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería, Universidad Ean, Bogotá, Colombia

\*jdacund74278@universidadean.edu.co

### Resumen

Güecha es una herramienta digital de estudio de explosivos, sus características principales se presentan en cuanto a la fisicoquímica, materias primas, balística y apariencia. La herramienta cuenta con un entorno didáctico y gamificado, es decir, con un enfoque videojugabilístico con fines pedagógicos. La herramienta expone todos los ámbitos necesarios para el aprendizaje de los explosivos y sus principales presentaciones. Estos ámbitos serán enseñados bajo tres pilares elementales, que son: teoría, simulación e interacción; a fin de proporcionar

un ambiente donde el usuario pueda adquirir conocimiento por medio de un entorno de juego libre, en el cual pueda “emocionarse aprendiendo”. El objetivo de este software se basa en enseñar al personal industrial y alumnos, en materias académicas enfocadas en el manejo de explosivos. El *software* avala el aprendizaje de las aplicaciones de la ciencia e ingeniería en la ciencia de los explosivos y su gran importancia para el progreso en la prevención, manutención y manejo de estos y su enfoque en los avances para la industria a nivel nacional. Una parte importante del *software* se basa en proporcionar un entorno gráfico atractivo y de fácil manejo, con el fin de llevar a cabo un buen proceso cognitivo. También expondrá información teórica sobre los explosivos estudiados (TNT), como su composición química, peso molecular, historia, fichas técnicas de manejo, apariencia y presentaciones, trazabilidad de ingredientes, etc. La parte de simulación será parte de la interactividad, esta va de la mano con una interfaz donde se podrá recorrer por medio de un mapa en tiempo real, donde se harán simulaciones de rangos de daño y calor de reacción con datos recolectados de pruebas realizadas en ambientes controlados y de accidentes provocados por el mal manejo de estos equipos. Por último, la parte interactiva se encargará de todo el entorno videojugabilístico, con el objetivo de interactuar de un modo más directo con el usuario, a fin de centrar su atención en aprender sobre los explosivos estudiados.

*Palabras clave:* explosivos, digital, industria, fisicoquímica, software, pedagogía.

---

## Estudio asistido por computadora de componentes y tamaño de mercado de la cachaza en la industria panelera

*Carolina Molinares Jiménez<sup>1</sup>, Lamia Zuniga Linan<sup>2</sup>, William Stive Fajardo Moreno<sup>1</sup>, Alexander García Pérez<sup>1</sup>, Jeffrey León Pulido<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Ean, Bogotá, Colombia

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Maranhão, Brasil  
*\*cmolina84513@universidadean.edu.co*

### Resumen

Colombia es un país donde se produce y consume panela, este es un producto que se deriva del cultivo de la caña de azúcar. La panela que se produce en el país se hace de manera tradicional, es decir, con poca tecnología en el proceso de producción. Actualmente, en el mundo se están viendo reflejados muchos cambios en los hábitos y el consumo de productos alimenticios, por ello la necesidad de encontrar alternativas para el uso y tratamiento de los componentes de la panela, además de contribuir a nuevas demandas que genera el mercado. Llevando en consideración los beneficios nutritivos que aporta la panela en comparación con el azúcar procesado, se desarrolló una evaluación del mercado y sus residuos. Las metodologías empleadas para el desarrollo del proyecto fueron dos: cualitativa y cuantitativa, por medio de un análisis del marco de normas nacionales e internacionales para el manejo de la panela, que se clasificó en BPM, manipulación, seguridad, calidad y ambiente. Finalmente, fueron estudiadas las partidas arancelarias y exportaciones en el país para el año base 2019, encontrando que el 47.36 % pertenece a azúcares de caña, de remolacha y sacarosa químicamente pura.

*Palabras clave:* cachaza, panela, simulación, mercado, partidas arancelarias.

---

## Análisis de propiedades termoquímicas de la quitina a partir del exoesqueleto de camarón asistido por computadora

*Juan Ángel Méndez Cárdenas<sup>1</sup>, Nathalia Peña Mogollón<sup>1</sup>,  
Samir Meramo Hurtado<sup>2</sup>, Ángel Darío González Delgado<sup>3</sup>,  
Daniela Silvia Mainardi<sup>4</sup>, Jeffrey León Pulido<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Ean, Bogotá, Colombia

<sup>2</sup>Nordisk Center for Biosustainability, Technical University of Denmark, Copenhagen, Dinamarca

<sup>3</sup>Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Colombia

<sup>4</sup>Department of Chemical Engineering, Louisiana Tech University, USA

\*jmendez53922@universidadean.edu.co

### Resumen

Los procesos de producción asociados a operaciones extractivas y de separación son ampliamente usados en la industria de procesos en general. Específicamente, el proceso de aprovechamiento de residuos de la industria del camarón adelanta operaciones para dar valor a los subproductos y residuos generados, por esto, estudios termoquímicos y del equilibrio de las mezclas son fundamentales para el entendimiento del proceso y futuro aprovechamiento de los componentes disponibles. En el caso de la quitina como biopolímero presente en numerosas estructuras de organismos vivos y residuos de crustáceos, presenta un potencial de uso en diferentes segmentos, entre ellos el tratamiento de aguas, alimentos y medicamentos, entre otros. De este modo, el estudio del comportamiento termoquímico y de las fenomenologías de los diferentes componentes involucrados en el sistema de producción de la quitina a partir de exoesqueleto de camarón son calculados para el posterior entendimiento del proyecto de aprovechamiento. Siendo así, los componentes puros y en mezcla son analizados haciendo uso del simulador de procesos Aspen Plus V11®. Para ello, los modelos de actividad fueron utilizados para estimar los

parámetros binarios del equilibrio de los componentes, siendo calculados con el simulador. La observación de los aspectos analizados presenta propiedades termoquímicas en diferentes condiciones de temperatura y presión, y diferentes puntos de comportamiento estable y del equilibrio, como resultado del estudio termoquímico.

*Palabras clave:* quitina, termoquímica, exoesqueleto de camarón, simulación, residuos.

---

## Estudio del potencial de impacto ambiental en la producción de quitina a partir de exoesqueletos de camarón

*Diego Andrés Rueda Baquero<sup>1</sup>, Samir Meramo Hurtado<sup>2</sup>, Ángel Darío González Delgado<sup>3</sup>, Daniela Silvia Mainardi<sup>4</sup>, Jeffrey León Pulido<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Ean, Bogotá, Colombia

<sup>2</sup>Nordisk Center for Biosustainability, Technical University of Denmark, Copenhagen, Dinamarca

<sup>3</sup>Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Colombia

<sup>4</sup>Department of Chemical Engineering, Louisiana Tech University, USA

\*druedab77431@universidadean.edu.co

### Resumen

Actualmente, las empresas se enfrentan a requerimientos y estándares de mercado que procuran el buen cuidado del medio ambiente, siendo así, los procesos se enfrentan a retos de carácter financiero, ambiental y de reducción de manera general. Los residuos de camarón en el mundo son de alrededor de 1300 millones de toneladas cada año. En los procesos actuales, es viable técnica y económicamente usar el desperdicio del camarón para producir quitosano, que sirve como polímero para producir materiales biodegradables, entre otros usos. El presente estudio se soporta en un proceso de producción de

quitosano a partir del camarón, se presenta un caso de estudio que incluye un diseño de proceso base y aplicando el algoritmo de reducción de residuos (WAR), identificando el impacto en los diferentes indicadores ambientales y de comportamiento energético. Finalmente, el análisis de impacto ambiental se divide en dos: de flujos y del proceso de generación/consumo de energía, los cuales permiten observar el diseño de procesos y la responsabilidad de operar de manera amigable con el medio ambiente.

*Palabras clave:* WAR, quitosano, quitina, desperdicio, impacto ambiental.

## Estudio del potencial del impacto ambiental de una planta de procesamiento de cáñamo en la industria de cannabis

*Katherinn Viviana Forero González<sup>1</sup>, Rafael Eduardo Malagón<sup>2</sup>, Carolina Mejía Liévano<sup>2</sup>, José Daniel Convers Sánchez<sup>1</sup>, Jeffrey León Pulido<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Ean, Bogotá, Colombia

<sup>2</sup>Flora Growth Corp Sucursal Colombia, Bogotá

\*kforerog3832@universidadean.edu.co

### Resumen

El cáñamo de cannabis es la planta con más usos documentados en investigaciones científicas y de desarrollo de materiales, ya que todas sus partes tienen valiosas características físico-químicas que permiten ser empleadas en la industria con diferentes finalidades, es por eso que se ha generado gran interés en la implementación del cáñamo de cannabis como materia prima principal en diferentes procesos, siendo una alternativa que trae consigo múltiples beneficios, tales como el aprovechamiento de los residuos, la sostenibilidad y la innovación. Actualmente, Colombia ha creado un marco

regulatorio para el acceso al cannabis con fines médicos y científicos, seguido de su respectiva reglamentación, esto ha generado un incremento en su producción y un gran atractivo por parte de inversionistas locales e internacionales para participar en el sector. Se presenta un caso de estudio que incluye un diseño de proceso base para el aprovechamiento de cáñamo y la aplicación del algoritmo de reducción de residuos (WAR), identificando el potencial del impacto ambiental de una planta de procesamiento del cáñamo de cannabis. Finalmente, los impactos de los flujos y del proceso de generación/consumo de energía presentan un panorama favorable para la implementación de procesos de aprovechamiento y generación de valor a los residuos lignocelulósicos asociados al proceso extractivo.

*Palabras clave:* cáñamo de cannabis, simulación, impacto ambiental, algoritmo WAR.

---

## Estudio de levaduras aplicadas a fermentaciones alcohólicas: caso de estudio batata (*Ipomea batata*)

*Gaydi Bohórquez Vega<sup>1</sup>, Alexander de Jesús Leyton Coneo<sup>1</sup>,  
Mary Judith Arias Tapias<sup>1</sup>, Jeffrey León Pulido<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Bolívar, Bolívar, Colombia

<sup>2</sup>Programa de Ingeniería de Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Ean, Bogotá, Colombia

\* gbohorquez@utb.edu.co

### Resumen

En los procesos de transformación y fabricación de productos, la materia prima juega un papel importante, pues esta aporta las características fundamentales que se desea tener en el producto terminado. El presente proyecto estudió la batata

(*Ipomea batata*), la cual posee una alta capacidad de disposición para el cultivo, especialmente en la región Caribe, y además tiene un gran potencial desde el punto de vista alimenticio o de generación de productos con valor agregado. Dentro de las materias primas principales se encuentran: agua, malta y se incluye la batata como diferencial, también el lúpulo y la levadura (objeto del presente estudio). Las levaduras son de suma importancia, puesto que de ellas depende, en gran medida, el proceso de fermentación. Para ello, se realizó un estudio cuantitativo, se utiliza una cepa específica de acuerdo con las condiciones del producto. Sin embargo, es necesario evaluar diferentes tipos de comportamientos de la levadura que puedan ajustarse al proceso. Con base en lo anterior, se plantea un estudio de los diferentes tipos de cepas de *Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces bayanus* para el desarrollo de la bebida fermentada, de acuerdo con los parámetros de temperatura de fermentación y cantidad de alcoholes superiores que determinan las condiciones del proceso, de esta manera se establecen los tipos de comportamientos de las cepas, soportados en el modelo de evaluación de factores internos (EFI).

*Palabras clave:* levadura, diseño asistido por computadora (CAD), bebida fermentada, fermentación.

---

## Estudio de emisiones en el proceso de polimerización de HDPE usando Aspen Plus

*Iván D. Santiago Céspedes<sup>1\*</sup>, Jeffrey León Pulido<sup>2</sup>, Rubén Darío Acosta Velásquez<sup>2</sup>, Lamia Zúñiga Linan<sup>3\*</sup>*

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería Química, Universidad Ean, Bogotá, Colombia

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Ean, Bogotá, Colombia

<sup>3</sup>Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, SP-Brasil

\*idsantiago.d@universidadean.edu.co

### Resumen

El estudio de las emisiones de CO<sub>2</sub> se realiza utilizando la herramienta Utilities y CO2 Emissions. Estas herramientas integradas en la *suite* Aspen Plus permiten la cuantificación de las emisiones de CO<sub>2</sub> por el uso de *utilities* o corrientes de servicio, como son la electricidad, el calentamiento con vapor o aceite térmico, dependiendo de la temperatura e incluso del enfriamiento. El cálculo de las emisiones se realiza de acuerdo con el estándar US-EPA-Rule E9-5711, en el cual se establece como fuente primaria para la obtención de energía eléctrica el gas natural. El caso base para el análisis de las emisiones de CO<sub>2</sub>, corresponde al proceso de polimerización de HDPE en 2 reactores CSTR en serie, cada uno con un volumen de 60 m<sup>3</sup>. El proceso de separación se lleva a cabo en un separador *flash*, el cual también requiere de una corriente de calentamiento para mantener la temperatura establecida de operación.

*Palabras clave:* emisiones, Aspen Plus, polimerización.

---

## Thermochemical, Thermophysical And Transport Properties Analysis For The Nylon 6 Polimerization Processes Using Aspen Plus

*Iván D. Santiago-Céspedes<sup>1\*</sup>, Jeffrey Leon-Pulido<sup>2</sup>, Ruben Dario Acosta Velasquez<sup>2</sup>, Lamia Zuñiga-Linan<sup>3</sup>.*

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería Química, Universidad EAN, Bogotá-Colombia.

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad EAN, Bogotá-Colombia.

<sup>3</sup>Facultade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, SP-Brasil. \*idsantiago.d@universidadean.edu.co

### **Abstract:**

The thermochemical, thermophysical and transport properties of a mixture are of great importance in the chemical processes industry. The right value of the different properties allows to the engineer make the right choose of the different variables involve in the process.

The polymerization processes bring a challenging and interesting issue in the field of chemical process design due to the non-ideal behavior and changing properties because the polymerization process itself. To make front to this, the use of a simulation software is crucial to estimate the thermochemical, thermophysical and transport properties to calculate and predict the Vapor Liquid Equilibrium, Critical constants and transport properties. The accurate prediction will result in the proper design of separation equipment, heat transfer surfaces and energy balances, the last ones, being of great importance due the economic and environment impact.

The present work takes the Nylon 6 polymerization process as case study to implement the Aspen Plus Polymer database and the adjustment of the models to predict the thermochemical properties associate with the phase equilibria and the contribution group method to determine the thermophysical and transport properties required to calculate the energy requirements.

*Keywords:* Thermochemical, thermophysical, nylon y plomerization.

## IV

---

### Diseño e innovación en procesos y/o productos

La innovación ha sido una fuerza impulsora detrás del progreso humano desde la antigüedad. Una búsqueda constante de mejorar las cosas y resolver problemas es lo que nos ha permitido desarrollar diferentes habilidades y crear productos que pueden satisfacer nuestras necesidades básicas y mejorar nuestra calidad de vida. El diseño de productos y procesos es un enfoque que se centra en ofrecer características que resuenan con el público, desde la idea hasta la realización, lo que puede implicar replantear las soluciones ya existentes y ofrecer innovaciones diferentes, como la inclusiva, de base, la frugal y la innovación social. Es importante mencionar que el diseño y la innovación no se basan solo en crear productos atractivos y de alta calidad. También se trata de incorporar prácticas sostenibles y energéticamente eficientes que contribuyan a reducir el impacto ambiental. Los procesos de producción y la elección de materiales son factores críticos que pueden afectar la sostenibilidad y la calidad de los productos. Por lo tanto, es importante que los diseñadores e innovadores consideren estos factores al crear productos y procesos. Además, el diseño y la innovación son

procesos iterativos que implican la colaboración de diferentes actores y partes interesadas. Desde los académicos hasta los expertos en tecnología y los usuarios finales, todos pueden contribuir con ideas y perspectivas valiosas para mejorar el proceso y el producto final. La inclusión de diferentes voces también puede ayudar a garantizar que los productos sean más accesibles y útiles para una audiencia más amplia. En Resumen, el diseño y la innovación son aspectos fundamentales para el progreso humano y el bienestar social y ambiental. Es importante que los diseñadores e innovadores consideren la sostenibilidad y la eficiencia energética al crear productos y procesos, y trabajen de manera colaborativa e inclusiva para lograr soluciones innovadoras que satisfagan las necesidades del público y aborden los desafíos globales actuales.

*Palabras clave:* sostenibilidad, bienestar, innovación.

## Evaluación técnica y económica de la fabricación de detergente retenedor de tinta para textiles

*Valentina Méndez Jiménez, Nicolle Sandler Velásquez  
Torres, Mario Andrés Noriega Valencia\**

Grupo de Investigación en Procesos Químicos y Desarrollo Sostenible,  
Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de La  
Salle, carrera 2 # 10-70, Bogotá, Colombia

\*nivelasquez95@unisalle.edu.co

### Resumen

El mercado de los productos de limpieza en Colombia tiene un tamaño anual de tres billones de pesos. Este integra principalmente detergentes líquidos, detergentes y jabones en presentación sólida, entre otros productos para la limpieza de textiles. A pesar de que es un mercado con gran variedad de tipos de productos y con un volumen de ventas e importaciones

alto, en la actualidad no hay detergentes que impidan la remoción de la tinta. En este trabajo se evaluó técnica y económicamente la fabricación de un detergente que es capaz de impedir la decoloración de los textiles sin dejar de lado la eliminación de la suciedad. Esta evaluación se realizó por medio de un diseño de proceso, basándose en los resultados obtenidos de la formulación evaluada experimentalmente en el laboratorio. Se realizó un estudio de mercado y a partir de este se definió la escala del proceso (26373 L anuales). Se diseñó el diagrama de flujo para un proceso en lotes, con base en este se realizaron los balances de materia, concluyendo que el proyecto tiene una viabilidad técnica y requiere de equipos sencillos operados a bajas temperaturas y presión atmosférica. El costo del producto final es accesible (\$3.300 COP por litro) y podría competir en el mercado actual, generando una ganancia bruta de \$2.711 por litro de detergente. El proyecto presenta un gasto operacional de \$1.452.597.784 COP mensual, y una inversión inicial de \$287.179 COP, permitiendo la generación de diez empleos directos. Finalmente, se evaluaron los indicadores económicos de tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN), los cuales dieron como resultado 32.7 % y \$110.420.886 COP, respectivamente, indicando que el proyecto tiene viabilidad económica.

*Palabras clave:* detergente, retenedor de tinta, formulación de detergentes, evaluación económica, textil.

---

## Evaluación de diferentes métodos de separación y purificación de almidón de ñame *Dioscorea sp.*

*Santiago Bedoya Barrera*<sup>1</sup>, *Daniela Alejandra Ostos Novoa*<sup>1\*</sup>, *Fabián Rico Rodríguez*<sup>3</sup>, *Isabel Cristina Castellanos Cuellar*<sup>2</sup>, *Lilia Carolina Rojas Pérez*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Ontare

<sup>2</sup>Grupo de Investigación de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Química, Universidad Ean, 110221, Bogotá, Colombia

<sup>3</sup>Grupo de Investigación IFCRA, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería de Alimentos, Universidad de Cartagena, 13005, Cartagena de Indias, Colombia \*dostosn39878@universidadean.edu.co

### Resumen

Colombia se encuentra entre los doce países con mayor producción de ñame a nivel mundial, el cultivo de este tubérculo en el país se concentra principalmente en la zona de la costa Caribe, donde se ha constituido como un alimento clave en la dieta de la población de esta región. Sin embargo, para mitigar las pérdidas por la sobreproducción de esta materia prima y gracias al alto contenido de almidón de ñame ( $70.44 \pm 3.13$  %), que presenta un alto potencial de valorización para diferentes industrias, por ejemplo, podría emplearse como agente espesante y gelificante en la fabricación de alimentos, podría ser un vehículo en sistemas farmacéuticos y podría ser utilizado como un ingrediente para formular biopolímeros. En este trabajo se evaluaron cuatro procesos diferentes para separar el almidón de ñame: 1) agua; 2) metabisulfito de sodio; 3) NaOH; y 4) agua-etanol. La materia prima para los cuatro métodos fue ñame fresco, el cual se cortó en trozos y se licuó con cada una de las soluciones o solventes puros de cada método. Posteriormente, el *slurry* obtenido se tamizó en dos etapas, en la primera se utilizó la malla 60 (0.246 mm) o 80 (0.175 mm), y en la segunda se utilizó la malla 200 (0.074

mm) o 230 (0.063 mm). Después de cada etapa de tamizado el almidón se recuperó por decantación (4 °C por 16 h) y/o centrifugación (6000 rpm por 10 minutos), posteriormente el almidón obtenido luego de las dos etapas de separación se secó en un horno de convección a 40 °C y se caracterizó en cuanto a su contenido de humedad, almidón, viscosidad y análisis ATR-FTIR. Mediante un balance de materia para cada proceso se determinó el rendimiento de producto obtenido y las fracciones del almidón que quedaron retenidas en las dos etapas de tamizado, así como el porcentaje de pérdidas. El mayor rendimiento de separación fue de 44.82 %, con una pureza de 76.40 % utilizando agua como solvente de extracción y el menor rendimiento fue de 11.75 % utilizando NaOH. Sin embargo, el mayor porcentaje de pureza se encontró para el proceso (4) agua-etanol, con un 91.08 %. El mejor método de separación y purificación del almidón de ñame correspondió al proceso que utilizó agua como solvente, ya que este elemento es un solvente seguro que presenta ventajas, tanto económicas como ambientales, desde el punto de vista de la química verde. Sin embargo, el proceso puede optimizarse en las etapas de separación propuestas y, sobre todo, debe mejorarse las técnicas de purificación para reducir el porcentaje de pérdidas e incrementar la pureza del almidón obtenido.

*Palabras clave:* ñame, almidón, extracción, purificación, ATR-FTIR.

---

## Separación de la mezcla etanol-agua usando un sistema híbrido de destilación-pervaporación

*Ronald González\*, Mario Andrés Noriega*

Grupo de Investigación en Procesos Químicos y Desarrollo Sostenible,  
Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de La  
Salle, carrera 2 # 10-70, Bogotá, Colombia

\*rgonzalez12@unisalle.edu.co

### Resumen

El etanol es un importante combustible renovable producido principalmente por la fermentación de azúcares y posterior separación por destilación. La presencia del azeótropo etanol-agua dificulta la separación y purificación del etanol por destilación. Para superar esta limitación se han planteado diferentes tecnologías, como tamices moleculares, destilación azeotrópica o destilación extractiva, estos procesos requieren un alto consumo de energía o la adición de un tercer componente, que es generalmente contaminante para el medio ambiente. La tecnología de pervaporación promete la separación del azeótropo etanol-agua con bajos consumos energéticos. Sin embargo, la instalación de múltiples unidades de pervaporación puede elevar los costos de inversión de la sección de separación. En este trabajo se desarrolló el modelamiento y simulación de un sistema híbrido de destilación-pervaporación para la separación y purificación del etanol de mezclas provenientes de la fermentación. Las simulaciones fueron desarrolladas empleando MATLAB® en la interfaz de Aspen Plus® con Excel® como puente, permitiendo integrar en Aspen Plus® una unidad de pervaporación programada en MATLAB®. Adicionalmente, fueron desarrollados análisis de sensibilidad para determinar las condiciones de operación recomendadas del sistema integrado. El sistema intensificado permitió superar el azeótropo de la mezcla empleando bajos consumos energéticos. El sistema de pervaporación debe deshidratar la

corriente de destilado y debe estar ubicada entre la corriente de cima y el reciclo de la columna de destilación, donde el retenido de la pervaporación presentó concentraciones por encima del punto azeotrópico, mientras que el permeado se condensó y recirculó a la columna de destilación.

*Palabras clave:* destilación, pervaporación, sistema híbrido, interfaz, etanol.

## Prefactibilidad técnica y económica de la producción de galactooligosacáridos (GOS) y derivados a partir de lactosuero dulce

*Óscar Javier Monroy Quezada, Valentina Caballero Sarmiento, Mario Andrés Noriega Valencia*

Grupo de Investigación Semillero Entropiq, Facultad de Ingeniería Química, Universidad de La Salle, carrera 2 # 10-70, Bogotá, Colombia

\*omonroy52@unisalle.edu.co

### Resumen

La producción de queso o yogurt genera lactosuero dulce como subproducto de la precipitación y eliminación de la caseína de la leche, a su vez, el lactosuero está constituido por componentes de interés como la lactosa, proteínas, nutrientes y agua. Los galactooligosacáridos (GOS) son componentes considerados prebióticos porque promueven la proliferación de bacterias intestinales beneficiosas para la salud humana y pueden ser obtenidos a partir de la transgalactosilación enzimática del lactosuero dulce. Este trabajo presenta el diseño de procesos para el aprovechamiento de lactosuero en la obtención de GOS y subproductos de interés. Para ello se realizó un estudio del mercado de la industria láctea nacional que permitió determinar la escala de producción y la ubicación del proyecto, posteriormente se propuso un diagrama de procesos donde se especificaron las condiciones de operación, se desarrollaron

los balances de materia y el dimensionamiento de equipos. Finalmente, empleando esta información, se llevó a cabo un estudio de prefactibilidad económica, que permite concluir que el proyecto es viable desde las perspectivas técnicas y económicas. Adicionalmente, a partir del procesamiento de 11 m<sup>3</sup>/día de lactosuero, se obtienen 319 kg/día de GOS, con una pureza aproximada del 70 %, y 83 kg/día de proteínas de lactosuero en polvo, con una pureza aproximada del 85 %.

*Palabras clave:* GOS, lactosuero, transgalactosilación, membranas, *Kluyveromices lactis*.

## Evaluación del desempeño en un filtro de bioarena modificado con arena sílice (SiO<sub>2</sub>) en la reducción de turbidez y coliformes

*María Acevedo Morantes<sup>1</sup>, Amaury Cabarcas Álvarez<sup>2</sup>, Álvaro Realpe Jiménez<sup>1</sup>, Juan Camilo Correa Caraballo<sup>1\*</sup>, Rafael José Mendoza Rodríguez<sup>2</sup>, Vilmaris Contreras Ortega<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación de Modelación de Partículas y Procesos, Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Piedra de Bolívar, avenida Consulado, Cartagena, Colombia

<sup>2</sup>Grupo de Investigación de Gimática, Programa de Ingeniería de Sistemas, Universidad de Cartagena, Piedra de Bolívar, avenida Consulado, Cartagena, Colombia

\*jcorreac@unicartagena.edu.co

### Resumen

Este trabajo de investigación fue realizado con la finalidad de presentar una alternativa de tratamiento de agua, mediante filtración por flujo lento para la obtención de agua apta para el consumo humano y uso doméstico en regiones del Caribe colombiano, que no cuenten con sistemas de suministro de agua potable. Se evaluó el desempeño de un filtro de bioarena (FBA) de escala intermedia (prototipo de uso académico en

polipropileno impreso en 3D por medio del método de modelado por deposición fundida, desarrollado por estudiantes de la Universidad de Cartagena) modificado con arena sílice ( $\text{SiO}_2$ ) como medio filtrante, arena que es usada para la filtración de aguas municipales, industriales y/o residenciales, con el fin de identificar su remoción de coliformes totales y cambios de las propiedades fisicoquímicas al filtrar aguas superficiales, provenientes de un efluente ubicado en la carretera del municipio de Turbaco (Bolívar, Colombia), potencialmente contaminadas por la presencia de pozos sépticos en el sector. Donde se realizaron análisis fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica y turbidez) y análisis microbiológicos (coliformes totales) de las aguas filtradas, en un periodo de 21 días, para evaluar el comportamiento durante la etapa de maduración del filtro.

Se logró obtener resultados favorables a partir de los datos experimentales en los parámetros tanto fisicoquímicos como microbiológicos, tales como una remoción promedio de la turbiedad del 95.6 % y una remoción promedio de coliformes totales del 40.2 %, aunque para ambas no en su totalidad, sin embargo, se evidenció mejoras en sus propiedades fisicoquímicas analizadas, ajustándose a los parámetros permitidos en la normativa colombiana (solo para el caso del pH, conductividad y turbidez). No obstante, se recomiendan más investigaciones al respecto y la complementación con otros procesos de potabilización para lograr mejores resultados y el cumplimiento de la normativa (Resolución 2115 de 2007).

*Palabras clave:* filtración, potabilización, filtro de bioarena, coliformes, turbidez.

---

## Estudio exploratorio de la obtención de biolubricantes a a partir de biodiésel del sebo bovino

*Carlos Alfredo Camargo Vila, Fredy Augusto  
Avellaneda Vargas, Débora Alcida Nabarlatz\**

Grupo de Investigación en Tecnologías de Valorización de Residuos y Fuentes Agrícolas e Industriales para la Sustentabilidad Energética - Interfase, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, carrera 27, calle 9, Ciudad Universitaria  
\*favellan@uis.edu.co

### Resumen

La actual necesidad del mundo de buscar nuevas materias primas que sean renovables en el área de los biocombustibles ha hecho que varios subproductos de la agricultura industrial tomen mayor importancia. Por ejemplo, tal es el caso de los aceites vegetales y/o grasas y aceites animales, que han sido referencia de estudios en los cuales se tiene como objetivo la obtención de biolubricantes con capacidad de competencia en el mercado, en comparación con aquellos obtenidos a partir de destilados del petróleo.

Un lubricante es una sustancia que tiene como objetivo principal reducir el desgaste y la pérdida de calor resultantes del contacto de superficies en movimiento, reducir la oxidación, actuar como aislante en aplicaciones de transformación y como sello contra la suciedad, el polvo y el agua. Las propiedades principales que lo definen son la estabilidad oxidativa, viscosidad, índice de viscosidad, estabilidad térmica, puntos de nube y punto de fusión. Los lubricantes se obtienen a partir de diferentes tipos de materias primas, como lo son las fuentes fósiles (destilados del petróleo), naturales (de aceites vegetales y grasas animales) y sintéticas. Cabe resaltar que, según el Ministerio del Medio Ambiente, cada año se consumen aproximadamente 50 millones de galones de lubricantes

en Colombia, siendo cerca del 90 % producidos a partir de derivados del petróleo.

Este proyecto tuvo como objetivo principal emplear el sebo bovino como materia prima en la producción de biolubricantes, proceso que ha sido poco estudiado debido a que el enfoque actual es la utilización de materias primas de origen vegetal, como la palma, la jatrofa, la canola, el ricino, entre otras; además, el posible aprovechamiento del sebo en la producción de biolubricantes podría darle un mayor valor agregado a este, así como contribuir en la reducción de los problemas medio ambientales ocasionados por su quema y disposición inapropiada.

Para el desarrollo de la reacción de transesterificación inversa (producir biolubricante) se evalúa la influencia de la relación molar biodiésel:TMP y el porcentaje másico de catalizador en las propiedades físicoquímicas del producto, esto a través de la implementación de un diseño central compuesto de 2 factores. La relación molar 4:1 con 0.8 % p/p de catalizador (escogido de las pruebas preliminares) han mostrado resultados con propiedades lubricantes superiores, por lo que se establece como punto central del diseño. Las condiciones de temperatura, presión y tiempo de reacción son las establecidas en las pruebas preliminares.

Finalmente, se obtuvo un biolubricante por medio de la transesterificación inversa del sebo bovino que cumple con los requerimientos de viscosidad e índice de viscosidad establecidos por la norma ISO VG 32, empleando condiciones de relación molar biodiésel:TMP de 4:1 y un porcentaje másico de catalizador de 0.51 %. Por tanto, es posible concluir que el sebo bovino puede ser una materia prima con un potencial interesante para su uso en la obtención de biolubricantes, para lo cual se recomienda llevar a cabo un estudio más profundo.

*Palabras clave:* sebo bovino, viscosidad, índice de viscosidad, biolubricantes, transesterificación inversa.

---

## Acondicionamiento de las grasas animales (sebo bovino) para la obtención de productos de mayor valor agregado (biodiésel o biolubricantes)

*Carlos Alfredo Camargo Vila, Fredy Augusto Avellaneda Vargas\**

Grupo de Investigación en Tecnologías de Valorización de Residuos y Fuentes Agrícolas e Industriales para la Sustentabilidad Energética - Interfase, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, carrera 27, calle 9, Ciudad Universitaria

\*favellan@uis.edu.co

### Resumen

Actualmente, los altos índices de consumo de los derivados del petróleo han desencadenado un aumento de los gases contaminantes arrojados a la atmósfera, generando graves problemas globales, como el cambio climático. Por esta razón, se hace necesaria la búsqueda de alternativas que permitan sustituirlos, como es el caso de los bioproductos a partir de fuentes renovables, cuya principal característica es la de ser amigables con el medio ambiente (biodegradables, no tóxicos) y que puedan competir con aquellos a base del petróleo.

Los residuos de grasas animales como el sebo bovino se presentan como una alternativa interesante para producir biocombustibles y/o biolubricantes, lodos de perforación, entre otros. Además, los residuos de sebo bovino adquieren relevancia debido a su bajo costo y alta disponibilidad. Según la Federación Colombiana de Ganaderos, en el 2020 se sacrificaron en Colombia cerca de 3.257.033 cabezas de ganado. En términos generales, si se considera que el peso promedio de una vaca varía entre 400 y 500 kg, de los cuales se pueden extraer cerca de 90 kg de sebo, significa que entre el 18 % y 22.5 % en peso de cada cabeza de ganado corresponde a residuos grasos.

Sin embargo, aunque en algunos casos estos residuos son utilizados para la obtención de otro tipo de productos como abono, alimentos para ganado o harinas, en muchas ocasiones son desechados e incinerados en hornos crematorios o a cielo abierto, lo cual genera gases contaminantes como dioxinas y furanos, generando un impacto ambiental importante.

Debido a estos motivos, este estudio tuvo como objetivo el acondicionamiento de un sebo bovino residual mediante la disminución del índice de acidez (desde valores entre 3 y 4 mg de KOH/g de sebo, hasta por debajo de 1 mg de KOH/g), por medio de una reacción de catálisis ácida ( $H_2SO_4$ ) con metanol, con el fin de obtener un sebo bovino mejorado apto para una potencial utilización como materia prima en la elaboración de bioproductos como biodiésel o biolubricantes.

Se eligió utilizar un diseño central compuesto (DCC) para evaluar la incidencia de algunas variables en los resultados; se tuvo en cuenta cuatro parámetros: relación molar alcohol:sebo, concentración de catalizador, temperatura y tiempo de reacción. Se realizó el montaje con 50 g de sebo bovino crudo para cada muestra en baño de maría para controlar la temperatura, así como un reflujo para evitar pérdidas de metanol por calentamiento. Se obtuvo un índice de acidez cercano a 0.6 mg KOH/g sebo, con un rendimiento del 98 % a una relación molar de 6.5:1, 1.1 % p/p de catalizador ( $H_2SO_4$ ), temperatura de 60 °C y 130 minutos de tiempo de reacción, logrando, además, disminuir las condiciones de operación respecto a estudios anteriores.

Por lo tanto, se puede inferir que la preesterificación catalizada con ácido sulfúrico y metanol resultó ser un tratamiento eficiente para la disminución del índice de acidez del sebo de bovino residual, debido a que se logró disminuirlo desde 4 mg KOH/g sebo a valores por debajo de 1 mg KOH/g sebo, obteniendo así una materia prima de calidad que podría ser utilizada potencialmente como precursor de biodiésel o biolubricantes, lo cual se sugiere estudiar con profundidad

debido a la utilidad y valor agregado que podría adquirir esta materia prima.

*Palabras clave:* sebo bovino, preesterificación ácida, índice de acidez, acondicionamiento de aceites, catálisis ácida.

---

## Peelable Temporal Coatings: Surface protection and decoration.

*Cristiam Fernando Santa Chalarca\**

Glasst Innovation Company S.A.S., Carrera 32 # 13-49, Oficina 504,  
Edificio C13, Medellín, Antioquia, Colombia.

\*cristiam.santa@gmail.com.

### Resumen

Plastic protective coatings and films are omnipresent products in our daily life. This type of temporary coatings find use as surface protectors in the electronics, automotive, and construction industries. The films are usually based on thermoplastic polymers such as LDPE, HDPE, PP, PVC, PET, among others. Although the PE-based films dominate most markets specially in the building industry, there is a need for more sustainable alternatives to traditional polymers due to the low recyclability of these films. To disrupt the field of protective plastic films, a peelable, water-based coating using a bio-based resin was developed. The base of the removable protective coating is a chemically modified bio-based resin. This technology, protected under the trademark Glasstomer®, allows to make resins that can be applied on different substrates and upon drying, affords a protective highly elastic film with the necessary mechanical properties to be easily peeled off, up to a year after applying, without the need for cutting or scraping that can damage the underneath surface. Through careful formulation of catalysts system, additives, and protecting agents several kinds of protective films were

formulated, suitable for the outdoor and indoor conditions of a construction site. For instance, the peelable films based on the Glasstomer® technology withstand solvents, mechanical damage, and welding sparks, providing protection for windows, floors, wood, among other substrates.

Recently, the Glasstomer® technology —used to fabricate the surface protective coatings for the building industry— was adapted into the decorative coatings field, seeking to disrupt the market of architectonic painting, where the common, conservative customs of consumers are based on the paradigm that color and paint should be permanent and long lasting. The approach focuses on a disruptive peelable, decorative coating, giving the consumers the possibility to temporarily paint a surface, and the ability to remove the coating when needed while leaving the underneath substrate untouched. The coating is suitable to be use on fair stands, college dorms, apartment rentals, holidays, and special occasions, where vibrant and customizable colors are preferred. To achieve customizability, a series of tintable paints, that allow the consumer to pick between a gamma of colors and glosses at the point of sale, were developed. The coating can be applied by paint rollers, airless sprayers, HVLP sprayers, etc.

*Palabras clave:* Temporary Coatings, Peelable Coatings, Glasstomer® Technology, Surface protection, Biobased-materials.

---

## Antioxidantes en la extrusión de harina de papa morada (*Solanum tuberosum* L. var. *Vitelotte*) y aguaymanto (*Physalis peruviana* L.)

*Hugo Alfredo Huamani Yupanqui<sup>1</sup>, Roldán*

*Carbajal Williams Vicente<sup>1</sup>, Joana Milagros Bravo*

*Romaina<sup>1</sup>, Pedro Pablo Peláez Sánchez<sup>2\*</sup>*

<sup>1</sup>Investigadores de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú

<sup>2</sup>Investigador Renacyt, Perú

\*hugo.huamani@unas.edu.pe

### Resumen

Los alimentos extruidos son populares por su estructura única, crujiente y bajo valor nutricional, podrían mejorar agregando fuentes beneficiosas y ricas en antioxidante a las mezclas extruidas, tales como legumbres, frutas, bayas, hierbas, semillas, etc. Entre ellos encontramos el aguaymanto y la papa morada, por el alto contenido de vitamina A y C, polifenoles, tocoferoles, carotenos y flavonoides, debido a su capacidad para eliminar radicales libres de ácidos grasos. El objetivo del estudio fue obtener y formular un alimento extruido, empleando harina de papa morada y concentrado de aguaymanto mediante la tecnología de extrusión, donde ingresan mezclas en porcentajes y calentado por una combinación de fuentes de calor, incluyendo la energía disipada por fricción al girar el tornillo a lo largo de la cámara. Las mezclas permiten el poder sinérgico que ambos productos poseen. Los experimentos se llevaron a cabo mediante tres variables independientes (harina de papa morada, concentrado de aguaymanto y la humedad), empleando un extrusor de un solo tornillo, con una boquilla de salida de 5 mm, se ajustó

a una temperatura de 180 °C, a una revolución de 150 rpm, evaluando las variables independientes, el contenido de antocianinas totales, fenoles totales y la actividad antioxidante DPPH y ABTS, y el índice de expansión a partir de nueve formulaciones.

La formulación óptima se determinó aplicando la prueba de deseabilidad basada en los modelos de regresión ajustada, se obtuvo maximizando el contenido de antocianinas totales e índice de expansión. La formulación óptima dio como resultado 68.12 % en harina de papa morada, 2 % de concentrado de aguaymanto y 29.88 % de humedad, con antocianinas totales, fenoles totales, actividad antioxidante (DPPH y ABTS), en harina de papa morada fueron  $74,72 \pm 20,046$  mg cianidina – 3. glucósido/100 g,  $2,188 \pm 0,361$  mg EAG/100g,  $347,045 \pm 8,267$  mMol TEAC/100g en DPPH,  $40,356 \pm 3,251$  mMol TEAC /100g ABTS, respectivamente, y un índice de expansión de 3,775 del extruido, se observó que el aumento de porcentajes del concentrado de aguaymanto en las mezclas impide la expansión de los extruidos, esto se debe a su contenido de fibra, grasa y carbohidratos, y a que el tratamiento de concentración a vacío disminuyó sus compuestos funcionales.

*Palabras clave:* Solanum tuberosum L. var. Vitelotte, Physalis peruviana L., diseño de mezclas.

---

## Optimización económica de los sustratos usados en la producción de péptidos antimicrobianos en fermentación sumergida por lotes de *Brevibacillus sp.* PNM157

David Cubides<sup>1,2\*</sup>, Freddy Ramos<sup>1\*</sup>, Nubia Moreno<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación, Estudio y Aprovechamiento de Productos Naturales, Marinos y Frutas Tropicales de Colombia, Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

<sup>2</sup>Grupo de Bioprocesos y Bioprospección, Instituto de Biotecnología IBUN, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

\*famosr@unal.edu.co; dacubidesm@unal.edu.co

### Resumen

En un estudio anterior se evaluó el efecto de la composición del medio de cultivo sobre la producción de metabolitos bioactivos (AMPs), a partir de *Brevibacillus sp.* PNM157. Basados en dicho estudio, el objetivo del presente trabajo se centró en la optimización económica de los sustratos usados en la producción de péptidos antimicrobianos en fermentación sumergida por lotes, pensando en la viabilidad de dicha producción a nivel industrial. La optimización se llevó a cabo mediante ensayos OFAT, un diseño Plackett-Burmann y una optimización por superficie de respuesta con un diseño Box-Benken. Se encontró que la melaza y el JAM, la harina de soya y la proteína de soya hidrolizada, el CaCO<sub>3</sub> y el MgSO<sub>4</sub>, son respectivamente las fuentes de carbono, nitrógeno y sales que producen la mayor concentración de AMPs al menor costo. Conforme al diseño Plackett-Burmann, la melaza, la harina de soya y el CaCO<sub>3</sub> son las fuentes más significativas en términos económicos para la producción de AMPs y biomasa. La composición óptima del medio de cultivo corresponde a 35.9g/L de melaza, 38.7 g/L de harina de soya y 4.6 g/L de CaCO<sub>3</sub>, lo cual resultó

en un incremento del 600 % de la rentabilidad de producción de AMPs respecto al medio basal.

*Palabras clave:* Brevibacillus, control biológico, péptidos antimicrobianos, optimización económica, Plackett-Burmann.

## Desarrollo de prototipo bioinspirado de vehículo propulsado por reacciones químicas

*Karen Rocha, George Riaño, Hesneider Soto, Jeffrey León Pulido*

Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Ean, Bogotá, Colombia

\*krochar81501@universidadean.edu.co

### Resumen

La exploración de nuevas alternativas y procesos para la generación de energía, son retos que la ciencia apuesta en procura del futuro del hombre y el equilibrio del planeta como dependencia a la manera en que se genere y consuma energía. Sin lugar a duda, se reconoce el aprovechamiento energético y el desarrollo de nuevas fuentes energéticas como una alternativa para responder al impacto ambiental provocado por la generación de energía proveniente de los combustibles fósiles. De tal forma, el trabajo de investigación centra un estudio experimental partiendo del análisis de reactivos y reacciones químicas seguras de óxido-reducción, teniendo en cuenta sus propiedades fisicoquímicas y la seguridad del proceso para el desarrollo del montaje experimental. El perfil de energía generado es llevado a la tracción mecánica de un prototipo de vehículo bioinspirado en la naturaleza, encaminado en la minimización del impacto ambiental y la maximización de los recursos. En consecuencia, la Universidad Ean presenta a Chumne, un diseño inspirado en la naturaleza del escarabajo, que brinda una distribución de carga con perfil dinámico

estable, bajo un chasis en ácido poliláctico (PLA), integrando el uso de materiales biodegradables, respondiendo a un torque mecánico capaz de mover 1.5 kg en carga, bajo una generación de energía de 1.5 V por celda utilizada en interacción con un sistema fotómetro de interrupción mecánica para el frenado.

*Palabras clave:* energía, eficiencia, óxido-reducción, proceso, reacción, seguridad.

## Acondicionamiento de un sistema de agitación neumática para fabricar productos a base de peróxido de hidrógeno

*María Rodríguez<sup>1\*</sup> Stephany Camacaro<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Química, Universidad Central de Venezuela, Caracas

<sup>2</sup>Corporación El Guardián C. A., Tinaquillo, Venezuela

\*rodriguezresyesmar@gmail.com

### Resumen

La agitación neumática es recomendada para el mezclado de líquidos corrosivos, como lo es el peróxido de hidrógeno; siendo los flujos burbujeantes un sistema bifásico, constituido por una fase continua líquida y una fase gaseosa dispersa bajo la forma de burbujas. Debido a la gran diferencia de densidad entre el gas y el líquido, las burbujas en su recorrido de ascenso inducen al fluido movimientos individuales y de conjunto, lo que produce la agitación de la solución. Con el estudio se propone definir el proceso de dilución por agitación neumática de una solución de peróxido de hidrógeno al 50 % w/w, el cual será empleado como ingrediente activo en la formulación de diversos productos. Para lograr este objetivo, se estableció el esquema general del proceso y se realizó una matriz de selección para definir el tipo de agitación neumática a emplear; luego se realizaron los balances de masa y energía en el tanque de agitación, empleando MATLAB, para luego

proceder a diseñar el agitador y desarrollar los cálculos orientados a especificar la bomba centrífuga de la línea de peróxido diluido al 25 % w/w hacia los tanques de formulación. Se elaboró el DFP y se realizó el modelado del tanque de agitación utilizando el *software* de dinámica de fluidos computacional (CFD) Flow-3D, el cual permitió verificar el comportamiento de variables fluidodinámicas de los fluidos que participan en la agitación neumática y, por último, se evaluaron los equipos y las condiciones, planeadas para operar en el proceso, mediante el uso del simulador Aspen Hysys. Se determina que la mejor alternativa para la función de agitación del caso en estudio, es el pulsador de aire; la simulación en Aspen Hysys confirma que los equipos propuestos garantizan la continuidad del proceso; se observa en la simulación que la temperatura de la solución de peróxido aumenta hasta un máximo de 1.2 °C durante la etapa de dilución, lo cual no representa problemas operacionales en el proceso; finalmente, la simulación en Flow-3D confirma que las partículas de gas con diámetro igual a 27.93 cm y presión interna igual a 177.158 Pa, inducen un patrón de flujo circulatorio con magnitudes de vectores de velocidad propio de los tanques de agitación por pulso de gas, para un ritmo de pulso de 2 burbujas por segundo.

*Palabras clave:* agitación neumática, peróxido de hidrógeno, CFD, simulación.

---

## Deshidratación electrostática de crudo, del microscopio a escala banco, sin química deshidratante

*María Rodríguez\*, José Sorrentino, Armando Martínez*

Laboratorio de Separaciones Mecánicas, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Central de Venezuela, Caracas

\*rodriguezresyesmar@gmail.com

### Resumen

La deshidratación electrostática se fundamenta en la aplicación de un campo eléctrico al crudo emulsionado, donde se activa del dipolo del agua generando una fuerza de atracción entre las gotas, lo que favorece su coalescencia y posterior separación de fases. De acuerdo con la ley de Stokes, la fuerza neta de gravedad que actúa en una gota es directamente proporcional a la diferencia en densidades entre la fase dispersa y la fase continua, al cuadrado del diámetro de las gotas; e inversamente proporcional a la viscosidad de la fase continua. Por otra parte, cuando en el agua hay iones disueltos (como  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ ), aumenta la conductividad, la cual indica el flujo de electricidad en el agua. La deshidratación de crudo es un proceso que permite obtener el crudo bajo especificación de venta (1 % v/v). Por ello, se estudia la deshidratación electrostática del crudo emulsionado desde una celda a nivel de microscopio (0.5 ml), hasta llegar a nivel banco (11 litros), con el fin de evidenciar la posibilidad de llevar a cabo este proceso sin química deshidratante. Para esto se estudia el proceso y los fenómenos asociados en una celda Batch a nivel de microscopio (0.5 ml), se hace un primer escalamiento a una celda continua (4 ml), para evaluar variables como tipo de corriente, tipo de celda, voltaje aplicado, porcentaje de agua, tiempo de residencia, uso de medio coalescedor, salinidad y, por último, se realiza un escalamiento del proceso a nivel banco (11 litros), con la construcción de un equipo que opera de forma dual: separador mecánico/separador electrostático, donde se evaluó

el nivel de agua y el uso de un medio coalescedor; todo esto sin aplicar química deshidratante.

Dentro de los resultados más relevantes se encuentran: 1) en la celda a nivel de microscopio se evidencian los fenómenos reportados en la bibliografía, como la formación de cadenas de gotas; 2) en la celda continua aumenta la eficiencia del proceso al emplear alto voltaje y medio coalescedor en un campo eléctrico homogéneo de CD, en un tiempo de 60 s; de igual forma, el proceso se ve favorecido por la presencia de sal en fase acuosa de la emulsión al emplear bajos voltajes con altas concentración de agua; 3) el equipo a escala banco favorece su eficiencia, con un nivel de agua de 18 %, uso de un medio coalescedor perpendicular al flujo de ascenso. En conclusión, la deshidratación electrostática es posible sin química deshidratante, al combinar de forma adecuada las variables de operación.

*Palabras clave:* campo eléctrico, emulsión W/O, microscopio óptico, coalescencia.

---

## Efecto de la aplicación de microondas en la deshidratación de crudo pesado y extrapesado

*Daniela Carmona, Francisco Yáñez, María Rodríguez\**

Laboratorio de Separaciones Mecánicas, Escuela de Ingeniería Química,  
Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas

\*rodriguezresyesmar@gmail.com

### Resumen

El petróleo es uno de los recursos más importantes a nivel mundial, constituyendo una de las industrias más grandes. Día a día los hidrocarburos son empleados en diferentes industrias y son utilizados como combustible, razón por la cual su producción es importante. El crudo se puede clasificar, según su

gravedad API, en: condensados, livianos, medianos, pesados, extrapesado y arenas petrolíferas o bitúmenes, donde a menor gravedad API más pesado será el crudo y más complejo será su tratamiento. En los crudos pesados y extrapesados el contenido de agua suele ser mayor, debido a los métodos de extracción que se emplean con ellos; adicionalmente, la presencia de surfactantes naturales generan emulsiones estables de agua en aceite (W/O), lo que hace necesario aplicar métodos efectivos para la deshidratación del crudo. Un crudo con agua genera problemas como corrosión en las tuberías, un elevado gasto energético asociado a transportar un fluido sin valor, y limitaciones en su comercialización al no cumplir con la especificación del 1 % de agua. Por lo anterior, se plantea la deshidratación de crudos pesados y extrapesados, empleando microondas, estableciendo un método de deshidratación alternativo, que a diferencia de los métodos convencionales es una tecnología de bajo consumo energético y libre de químicos. Para ello, se evalúan variables como: tiempo de exposición, potencia aplicada, porcentaje de agua emulsionada, contenido de sal, tamaño de gota. Antes y después de la aplicación del microondas las muestras se someten a un proceso de centrifugación, con la ayuda de un solvente, para separar el agua producto de la aplicación del tratamiento, con el fin de estudiar y comparar la efectividad de la prueba aplicada. Se emplea la técnica de microscopía óptica, a fin de evidenciar de forma cualitativa la variación en el tamaño y la dispersión de las gotas de agua en la muestra, para concluir sobre la influencia de las microondas en la deshidratación del crudo. Los resultados obtenidos apuntan a que las mejores condiciones para aplicar microondas en el proceso de deshidratación del crudo pesado o extrapesado consideran 100 % de potencia y un alto porcentaje de agua emulsionada (40 %), siendo efectivo el tratamiento en periodos cortos de tiempo

(segundos), logrando alcanzar una deshidratación del 80 %, sin química deshidratante.

*Palabras clave:* emulsión W/O, microondas, deshidratación de crudos, microscopía óptica, centrifugación.

---

## **Benchmarking de bebidas fermentadas artesanales en Latam**

*Julián Andrés González de La Ossa, Juan Francisco  
González Amaya, César Alejandro Ortega Jurado,  
Milthon Esteban Camelo Díaz, Jeffrey León Pulido\**

Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Ean,  
Bogotá, Colombia \*jleonp@universidadean.edu.co

### **Resumen**

El presente estudio se enfoca en el entendimiento actual del mercado de bebidas fermentadas (cerveza artesanal) y su proceso de producción en Colombia. La importancia y crecimiento del mercado, además de nuevos productos en el campo de la cerveza artesanal, es de gran importancia en nuestros tiempos. La cerveza se consolida como la segunda bebida alcohólica de mayor consumo en Colombia, esta industria aporta al desarrollo a través de diferentes métodos de producción, los cuales han abierto grandes campos de investigación y optimización de producir cerveza a nivel mundial. La realización de este proyecto se hace con base al estudio de mercado que tiene la industria cervecera en Colombia, donde observamos los ingresos de las empresas más representativas que tiene nuestro país en esta industria. Los ingresos medidos en millones de pesos colombianos (COP) se dividen en las diez empresas más grandes del país, donde Bavaria se lleva más del 78.71 %, eso significa que esta empresa tiene más de la mitad de todos los ingresos que genera Colombia en esta

industria, lo que la hace bastante fuerte por ser dueña de las cervezas más consumidas del país. La cerveza artesanal se lleva el 2 %, 1 % y 8 % con BBC, Cervecería Artesanal de los Andes y Artesanos de Cervezas, respectivamente, lo que las hace empresas pequeñas respecto a las grandes industriales, además que estas empresas llevan poco tiempo en la industria respecto a Bavaria, que lleva un largo historial en la industria de nuestro país. También se revisó el ebitda de la industria general de cervecería en Colombia, y se ha mantenido estable en los últimos cinco años medidos desde el 2016 hasta el 2020. Se evidencia un aumento de número de compañías nuevas en esta industria, pero con un bajón de 42 empresas en el 2018 a 38 en el 2020. Aunque se fueron unas empresas, el ebitda general en la industria es sano, lo que significa que es una industria estable, aunque es necesario encontrar un nicho, porque se corre el riesgo de que las grandes empresas puedan absorber la compañía.

*Palabras clave:* cerveza, proceso de producción, benchmarking, bebidas fermentadas.

---

## Estudio de bebidas fermentadas especiales con sabores cítricos colombianos

*Julián Andrés González de La Ossa, Juan Francisco  
González Amaya, César Alejandro Ortega Jurado,  
Milthon Esteban Camelo Díaz, Jeffrey León Pulido\**

Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Ean,  
Bogotá, Colombia \*jleonp@universidadean.edu.co

### Resumen

El presente trabajo consiste en un estudio cualicuantitativo y de alternativas de proceso de producción de cerveza artesanal, mediante infusiones de cítricos de origen colombiano.

Esta inclusión de nuevos componentes a la formulación convencional de cervezas artesanales genera nuevas alternativas de productos en el campo cervecero. En la actualidad, esta es la segunda bebida alcohólica de mayor consumo en Colombia. En este contexto, el estudio presenta un estudio de las posibilidades y avances logrados desde la cerveza a través de diferentes métodos de producción, los cuales han abierto grandes campos de la innovación y obtención de cerveza a nivel mundial. Este proyecto estudia alternativas para promover los sabores típicos colombianos en procesos de fermentación. Se planteó un diseño experimental para la producción de diez litros de cerveza, a partir de esta formulación se generan alternativas de infusiones, partiendo de materias primas diferenciales de frutos colombianos. El diferencial especial en este caso son las esencias cítricas, que son evaluadas a partir de comportamientos fisicoquímicos, condiciones de proceso y variables de producción. Finalmente, una observación de las variaciones de sabor y apariencia debido a las infusiones y sus componentes fueron evaluados en relación con las condiciones de producción.

*Palabras clave:* cerveza, proceso de producción, sabores cítricos, bebidas fermentadas.

---

## Diseño de una planta de fabricación de ladrillos a partir de cenizas de bagazo

*Federico López Muñoz<sup>1</sup>, Saaibi de Jesús Arenas Moreno<sup>1</sup>,  
Fabio López Duarte<sup>2</sup>, Jeffrey León Pulido<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería Química, Universidad Ean, carrera 11 # 78-47, Bogotá, Cundinamarca

<sup>2</sup>Conagran Ltda., Km. 9, vía Candelaria, Puerto Tejada, Valle del Cauca, Colombia

\*flopem76126@universidadean.edu.co

### Resumen

Dentro de las industrias más productivas del país se encuentra el sector de la construcción. A medida que las ciudades crecen, aumenta de manera significativa la demanda de espacios habitacionales, de trabajo, colegios, hospitales, universidades, centros comerciales, entre otras construcciones. Se estima que para el 2050 el 68 % de la población estará ocupando las ciudades, presentado un aumento en la disponibilidad de espacios y en consecuencia demanda de materiales de construcción. Los proyectos de construcción estimulan el desarrollo económico del país, además de generar empleo. No obstante, el incremento de la demanda y desarrollo constructivo trae consigo diferentes problemas ambientales. En primera instancia, la generación de residuos y contaminantes, y por otro lado, la necesidad de generar iniciativas para el aprovechamiento y mejor disposición de estos. En perspectiva, el 80 % de los materiales utilizados en construcción son extraídos de la tierra, trayendo consigo problemas de erosión del suelo. Esta industria genera el 30 % de CO<sup>2</sup> resultado de la minería, y otros procesos como la producción de *Clinker* demandan grandes cantidades de energía. El presente proyecto, a partir de un desarrollo experimental, proyecta el diseño de una planta de procesos para la producción de ladrillos de cenizas de bagazo, considerando que este es de los mayores desechos del valle.

Con este panorama, se procura aportar al desarrollo del paradigma de las cenizas, generando productos innovadores y nuevas materias, además de nuevas formas de producirlos. Finalmente, es presentada la posibilidad de reutilizar las cenizas como materia prima para la fabricación de ladrillos, puesto que, tras un tratamiento térmico, la actividad puzolana es perfecta para el fraguado.

*Palabras clave:* RCD, residuos, ladrillos, construcción, diseño bagazo, cenizas.

---



---

## Ciencia de datos y análisis experimental

La ciencia de datos también tiene un papel importante en la industria farmacéutica, ya que se puede utilizar para predecir la eficacia de los medicamentos y posibles efectos secundarios. Los investigadores pueden utilizar la información obtenida de ensayos clínicos y estudios preclínicos para modelar el comportamiento de los medicamentos y predecir cómo funcionarán en pacientes con diferentes perfiles genéticos. Además, la ciencia de datos también se aplica en el campo de la genómica, permitiendo a los investigadores analizar grandes cantidades de información genética para identificar patrones y relaciones. Esto puede conducir a una mejor comprensión sobre cómo funcionan los genes y cómo interactúan con otros factores para causar enfermedades. La ciencia de datos también se utiliza en la creación de modelos predictivos para el análisis del clima y el medio ambiente. Los científicos pueden utilizar datos recopilados de satélites, sensores y otras fuentes para predecir los patrones climáticos y evaluar los impactos ambientales de la actividad humana. Esto puede ayudar a las empresas y a los gobiernos a tomar decisiones informadas sobre cómo reducir su huella ambiental

y mitigar los efectos del cambio climático. En el campo de la inteligencia artificial, la ciencia de datos es esencial para la creación de algoritmos de aprendizaje automático y redes neuronales. Estos algoritmos son capaces de aprender de grandes conjuntos de datos y pueden utilizarse para automatizar tareas como la clasificación de imágenes, la detección de fraudes y la optimización de procesos empresariales. Sin embargo, a medida que la cantidad de datos disponibles sigue aumentando, se presentan nuevos desafíos. La privacidad de los datos es un problema importante, ya que es crucial proteger la información personal de las personas. También es importante garantizar que los datos se almacenen de manera segura y se pueda acceder de manera eficiente desde ubicaciones remotas. Por ello, la ciencia de datos es una herramienta valiosa para comprender y analizar grandes conjuntos de datos en una amplia gama de campos, desde la investigación científica hasta la industria y la toma de decisiones empresariales. A medida que la cantidad de datos sigue aumentando, es importante abordar los desafíos que se presentan y encontrar formas de utilizar esta información de manera segura y efectiva.

## Aplicación de extractos naturales como inhibidores de corrosión, a partir del estudio de los diferentes métodos de obtención

*Alejandra Isabel Marrugo Quintero, Fabio Andrés*

*Mendoza Villarraga, Pedro Javier Meza Castellar*

Grupo de Investigación en Diseño de Procesos y Aprovechamiento de Biomásas - IDAB, Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Piedra de Bolívar, avenida El Consulado, Cartagena de Indias  
\*alemarrugo18@gmail.com

### Resumen

La investigación consiste en una revisión bibliográfica de estudios referentes a la elaboración de inhibidores de corrosión, a partir de la obtención y caracterización de extractos naturales. La corrosión es provocada por diversos factores ambientales, como la concentración de oxígeno y la temperatura, que afecta aspectos como la conservación de los materiales y la salud. La gran mayoría de los inhibidores de corrosión se han destacado por ser sustancias tóxicas en el medio de aplicación, lo que ha resultado como un factor limitante al momento de su distinción. Gracias a esta problemática, el objetivo de este trabajo fue conocer qué tan adecuados son los extractos naturales para la elaboración de inhibidores de corrosión al ser aplicados en un medio corrosivo ácido, a fin de que pueda compararse con investigaciones anteriormente realizadas y vincularlo en la clasificación de estudios a futuro; además, que permita la innovación y creación de inhibidores de corrosión ambientalmente amigables, eficientes y accesibles a diferentes tipos de mercado. Primeramente, se identificaron los diferentes métodos de extracción, de los cuales se destacó como el más eficiente el método de Soxhlet, gracias a su mecanismo de operación, puesto que actúa como un método ahorrativo al recircular el disolvente. Para cada extracción se identificó un disolvente, de lo cual se afirmó que el más eficiente fue el agua

destilada por su alto porcentaje de eficiencia y baja toxicidad. Seguidamente, gracias a las caracterizaciones realizadas para cada estudio, se distinguieron grupos funcionales, compuestos y elementos que les atribuyeron a los inhibidores su capacidad inhibidora; los más comunes de ellos fueron: grupos hidroxilo y grupos fenoles (grupos funcionales) y flavonoides y fenoles (compuestos y elementos). Todos ellos fueron identificados a partir de pruebas como la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), que resultó ser la más utilizada.

La relación de las velocidades de corrosión y las eficiencias de inhibición con las isoterms de adsorción demostró que la isoterma más usada fue la de Langmuir; esta permitió determinar las interacciones físicas y químicas de los inhibidores y los mecanismos de inhibición. Con base en lo anterior, fue posible clasificar los inhibidores como catódicos o mixtos. De esta comparación se obtuvo que la eficiencia aumentó a medida que se incrementaba la concentración de inhibidor y disminuyó con el aumento de la temperatura y el tiempo de inmersión. Mientras que la velocidad disminuyó con el aumento de la concentración. Finalmente, la mayor eficiencia identificada fue del 96.02 % para el estudio del extracto de *Morinda citrifolia* (noni) en ácido clorhídrico a 0.5 M, con una concentración de extracto de 0.8 g/L, en acero al carbón 1045 y a temperatura ambiente, extraída con agua destilada. Esto permitió concluir que los extractos naturales son sustancias adecuadas para ser utilizadas como inhibidores de corrosión, porque demuestran alta eficiencia y una tecnología menos dañina para el medio.

*Palabras clave:* caracterización, isoterma de adsorción, inhibición, corrosión, extracción.

---

## Ciencia de datos aplicada a procesos en la industria química

*Rubén Durango\**, *Ángela Vanegas*

Departamento de Investigación, Desarrollo e Innovación, Andercol S. A. S.,  
calle 19A # 43B-41, Medellín, Colombia

\*ruben.durango@andercol.com.co

### Resumen

Con la revolución de la industria 4.0 y el Internet de las cosas en auge, las plantas industriales empezaron a producir una nueva clase de bienes: los datos. Estos pasaron de ser reportes estáticos a flujos dinámicos de información, lo que hace que interpretar y aprovechar este volumen de datos sea un verdadero reto. En países desarrollados muchas plantas de procesos químicos entraron en este estado 4.0 en la última década, y hoy capturan, procesan y aprovechan un gran porcentaje de los datos que producen, lo que les permite optimizar su operación en todos los niveles. Sin embargo, para el caso de Latinoamérica, esta revolución se encuentra en una etapa muy incipiente, en donde también se producen flujos de datos, pero a una escala mucho menor, y en muchos casos estos flujos no van a ningún lado, son malinterpretados, mutilados, o peor aún, desechados. Por lo anterior, este trabajo nace con el fin de usar los flujos de datos pasados, presentes y futuros de los procesos productivos de Andercol, para generar valor de forma efectiva, siendo empleados para la construcción de todo tipo de herramientas digitales.

Hoy se han logrado construir aplicativos para actividades como diseño de productos, gestión de inventarios, predicción de tendencias, detección de anomalías y automatización de decisiones de proceso, entre otras. Por medio del uso de las herramientas desarrolladas, en el último año Andercol ha podido reaprovechar casi 5000 millones de pesos de material improductivo, el cual fue identificado gracias una herramienta capaz de realizar un barrido por todos los inventarios

de la organización e identificar los productos aprovechables. Manualmente esta tarea hubiera sido extremadamente dispendiosa. También se lograron reducir los tiempos de formulación de mezclas de productos usando herramientas de simulación, ensayos que duraban una semana, ahora tienen una duración de solo un día. De esta forma se pudo ahorrar capital de trabajo en planta e incrementar radicalmente la velocidad de despachos. Finalmente, fue construida una herramienta usando machine learning para simular síntesis de laboratorio de proceso. Hoy dicha herramienta es usada como elemento de decisión en la formulación de productos.

*Palabras clave:* ciencia de datos, machine learning, industria 4.0, transformación digital.

---

## Determinación de una plataforma de gestión documental para la clasificación de ensayos clínicos en Atalanta Science and Technology S. A. S.

*Karen Daniela Rocha Rodríguez<sup>1</sup>, Jeffrey León Pulido<sup>2</sup>, Narella Rodríguez Salamanca<sup>3\*</sup>*

<sup>1,2</sup>Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Ean, Bogotá, Colombia

<sup>3</sup>Gerente general de Atalanta Sciences and Technology S. A. S.

\*krochar81501@universidadean.edu.co

### Resumen

Se reconoce que Atalanta Science and Technology S. A. S. es una empresa centrada con el objetivo de desarrollar y fortalecer el sistema de garantía de calidad de salud en Colombia, que integra aspectos de evaluación de la calidad e información al usuario (paciente), teniendo un modelo de formación en competencias en la búsqueda de atraer, retener y desarrollar personal con competencias clave para la gestión de la organización. En

ese sentido, se busca trabajar en pro del desarrollo personal e institucional, creando nuevas y mejores alternativas en las gestiones de la organización, manteniendo siempre una actitud de flexibilidad hacia el cambio, que a su vez permita la búsqueda de soluciones hacia contratiempos inesperados que conlleven a seguir fortaleciendo la capacidad de aprendizaje continuo en la institución. De tal forma, se menciona la necesidad en la organización de requerir y desarrollar un sistema de gestión documental para ensayos clínicos en un tiempo estipulado de tres meses, ya que al no presentar una plataforma para su almacenamiento, el tiempo de búsqueda y de recolección de información suele ser de larga duración, lo que conlleva a que la eficiencia en el trabajo se vea perjudicada y/o alterada. En consecuencia, se estableció un diagnóstico a través del software en línea Odoo, definiendo los lineamientos, procedimientos y formatos necesarios para el proceso de gestión documental de ensayos clínicos para Atalanta Science and Technology S. A. S., permitiendo que este proceso sea más eficiente, eficaz, óptimo y se presente un buen análisis de la información recolectada en los ensayos clínicos, identificando sus factores críticos y reconociendo el estado real de los documentos en el marco a la normatividad vigente para los procesos de gestión documental en el país.

*Palabras clave:* gestión documental, plataforma en línea, ingeniería documental, ensayos clínicos.

---

# VI

---

## Economía circular y sostenibilidad

La economía circular es un modelo de producción y consumo que se basa en la reducción, reutilización y reciclaje de recursos para minimizar el impacto ambiental y maximizar la eficiencia económica. A diferencia del modelo lineal tradicional de extracción, producción y eliminación, la economía circular propone un enfoque de ciclo cerrado en el que los residuos se convierten en recursos y se vuelven a utilizar en nuevos procesos. La ingeniería es una disciplina clave en la implementación de la economía circular y la sostenibilidad en la producción industrial. Los ingenieros tienen un papel fundamental en la optimización de procesos productivos que reduzcan la extracción de recursos naturales, y promuevan la utilización de materiales sostenibles y de fácil reutilización. La aplicación de la economía circular en la ingeniería implica la implementación de tecnologías y procesos que minimicen el impacto ambiental. Esto incluye el uso de fuentes de energía renovable, la eliminación de materiales tóxicos y la adopción de técnicas de producción limpia que reduzcan el consumo de agua y energía. Además, la economía circular también fomenta la prolongación del ciclo de vida de

los productos, lo que significa que los ingenieros deben diseñar productos que sean duraderos, reparables y reciclables al final de su vida útil. También deben considerar el uso de materiales reciclados y biodegradables en el diseño de nuevos productos. La economía circular y la sostenibilidad son conceptos clave para la ingeniería moderna. Los ingenieros tienen la responsabilidad de desarrollar soluciones innovadoras y sostenibles que reduzcan el impacto ambiental de la producción industrial y promuevan un uso eficiente de los recursos. La adopción de prácticas sostenibles es esencial para garantizar un futuro sostenible para la humanidad y el planeta.

## Evaluación de aplicación de biochar proveniente de residuos agroindustriales mediante un modelo matemático de interacción de nutrientes en el suelo

*Nevis Alejandra Ruiz Márquez<sup>1\*</sup>, Farid Chejne Janna<sup>1</sup>, Adriana María Quinchía Figueroa<sup>2</sup>, Whady Felipe Flórez Escobar<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Tayea, Departamento de Procesos y Energía, Universidad Nacional de Colombia

<sup>2</sup> Site, Escuela de Ingeniería y Ciencias Básicas, Universidad EIA

<sup>3</sup> IET, Escuela de Ingeniería y Ciencias Básicas, Universidad Pontificia Bolivariana

\*naruizm@unal.edu.co

### Resumen

El suelo es un ecosistema complejo que involucra diferentes elementos químicos, físicos y microbiológicos que interactúan e influyen en la disponibilidad de nutrientes para la planta, está conformado por diferentes elementos y el punto de encuentro es la solución del suelo o la fase líquida en la cual se encuentran iones, cationes, elementos y compuestos que interactúan por medio de reacciones químicas de equilibrio, oxidorreducción y transporte, además esta interacción se entrelaza con los fenómenos de difusivos y convectivos en

función de la saturación del suelo o el contenido de humedad; por eso se busca evaluar el efecto de aplicación de biochar en el suministro de nutrientes a suelos destinados a actividades agrícolas, por medio de un modelo matemático, que involucra el transporte, teniendo en cuenta difusión, convección y términos fuente, resueltos por el método de diferencias finitas, acoplado según el teorema de Gudonov, a un modelo equilibrio químico desarrollado a partir de diferentes reacciones químicas, este último es comparado de forma experimental encontrando que se acopla a la dinámica del suelo después del día 16, con un porcentaje de diferencia de 0.48 % para K, 3 % para  $\text{NO}_3^-$ , 0.02 % para  $\text{NH}_4^+$  y 7.2 % para P. Este modelo ofrece un panorama más completo de la interacción de nutrientes en el suelo, donde se tienen diferentes elementos como: las fases sólida, líquida y gaseosa, el efecto de las raíces, las reacciones de oxidorreducción, de equilibrio y transporte, la liberación de nutrientes desde la matriz sólida del suelo y el biochar, teniendo en cuenta la saturación del suelo, finalmente se encontró que la aplicación de biochar en suelos tiene un efecto positivo, aumentando la retención del nutriente en el tiempo, además de manera experimental se logró identificar que la aplicación de biochar contribuye en parámetros como el pH, incrementándolo hasta en una unidad para suelos arenosos y en la retención de humedad aumentó entre 24-29 % en suelo arenoso, orgánico y limoso, así mismo, la CIC aumentó en un 4 % en el suelo orgánico; en cuanto al contenido de nutrientes, la aplicación de biochar generó incrementos superiores al 100 % en la fase sólida para los contenidos de P y  $\text{NO}_3^-$ , y del 2-8 % para K, Ca y Mg, por lo que su aplicación en suelos agrícolas es una alternativa promisoriosa para el mejoramiento de suelos y el aprovechamiento de residuos agroindustriales.

*Palabras clave:* fenómenos de transporte, interacciones químicas, pirólisis, simulación, mejoramiento de suelos.

---

## Producción de biodiésel, usando una mezcla oleosa de RBD y AUC con un catalizador residual de cenizas de cáscara de limón

*Jessica Paola Marín Cabra, Édgar Mauricio Vargas Solano\**

Programa de Ingeniería Química, Universidad Jorge Tadeo Lozano, carrera  
4 # 22-61, Bogotá, Colombia

\*edgar.vargas@utadeo.edu.co

### Resumen

En el mundo la mayor cantidad de energía consumida proviene de materias primas fósiles como petróleo, gas y carbón, generando en su explotación y consumo importantes daños ambientales (suelos, agua y aire). No obstante, una alternativa viable para mitigar dichos problemas son los biocombustibles de origen vegetal como el biodiésel; el cual puede ser reemplazado de forma total o parcial en diésel fósil. Cabe resaltar que Colombia mezcla para sus vehículos que funcionan con diésel un 10 % de biodiésel y un 90 % de diésel, lo que ayuda a reducir la emisión de gases efecto invernadero (GEI) y contribuir con el cumplimiento de acuerdos internacionales de protección ambiental, lo cual lo posiciona como líder en la región en porcentaje de mezcla.

En Colombia todo el biodiésel es producido con aceite de palma refinado (RBD) mediante la reacción química de transesterificación; dicha materia prima oleosa es costosa y llega a ser el 80 % de los costos de producción del biocombustible; además, este proceso utiliza químicos como catalizador homogéneo (NaOH o KOH) extremadamente tóxicos, no reutilizables y nocivos para el medio ambiente (causando contaminación de agua y aumento de la huella hídrica). Por tanto, el uso de residuos como reemplazo a estas materias primas ayudaría a solucionar los daños ambientales y contribuir con las políticas de estado en economía circular y desarrollo sostenible.

Es importante resaltar que Colombia es un país productor de aceite de palma (cerca de 1.6 millones de toneladas al año) y de limón Tahití (cerca de 35 mil toneladas al año); por tal razón se genera una gran cantidad de materiales residuales (aceites usados de cocina – AUC y cáscara de limón) derivados de estos dos productos agrícolas. Por lo tanto, usar AUC como materia prima oleosa y las cáscaras del limón como catalizador sólido, es una alternativa para producir biodiésel de forma económica, sostenible y circular.

El objetivo de este proyecto se basó en evaluar la cáscara de limón como un potencial catalizador heterogéneo en la producción de biodiésel (ésteres metílicos de ácidos grasos –fames) a partir de una mezcla del 50 % de AUC y 50 % de RBD con metanol. Se usó un diseño experimental factorial, utilizando como factores la cantidad másica de catalizador sólido y la relación molar entre metanol:aceite en tres niveles.

El mayor rendimiento alcanzado fue de 92 % para la producción de fames, con una relación metanol:aceite de 12:1 y 1 wt % de catalizador. El catalizador sólido presentó tanto fuerza ácida como básica en su superficie; obteniendo valores de ( $15 \leq pK_b < 17.2$ ) y ( $3.8 \leq pK_a < 3.5$ ) usando indicadores de Hammett para esta determinación, y se corroboró por los grupos funcionales que mostró el análisis de FTIR. La fuerza básica fue debida a la presencia de calcio, potasio y fósforo; y la fuerza ácida debido al silicio. Este resultado da al catalizador sólido un carácter bifuncional (ácido-base), lo cual hace que pueda realizar simultáneamente las reacciones de transesterificación y esterificación en un mismo reactor, lo que es innovador para los procesos actuales en la industria de producción de biodiésel.

*Palabras clave:* biodiésel, residuos, catalizador heterogéneo bifuncional, economía circular, desarrollo sostenible.

---

## Extracción de un pigmento obtenido desde la fase madura del exocarpio del café y su uso en serigrafía textil

*Andrés Fernando Camacho Contreras, Diani Carolina Sánchez Rubio, Felipe Correa Mahecha<sup>1</sup>, Diego Francisco Cifuentes Galindres<sup>2</sup>, Diana Marcela Cuesta Parra<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Fundación Universidad de América, avenida calle 1 # 20-53, calle 54 # 10-39

<sup>2</sup> Grupo de separación mediante procesos no convencionales - GPS, Tecnoparque Sena, Sede Bogotá,

\*felipe.correa@profesores.uamerica.edu.co

### Resumen

Colombia es el tercer productor más grande de café en el mundo, durante el proceso de producción se generan importantes cantidades de residuos, se estima que solo el 5 % de la masa del fruto termina convirtiéndose en una taza de café; la pulpa es, por mucho, el principal residuo de esta industria, ya que representa el 43.2 % del fruto en base húmeda, su inadecuado manejo y disposición es responsable de la contaminación en ríos y suelos a lo largo de toda la geografía nacional; dependiendo el nivel de maduración del grano es posible obtener sustancias como la clorofila, los carotenoides y las antocianinas, las cuales pueden ser empleadas como pigmentos y colorantes en diferentes industrias.

Por otro lado, para el 2018 la industria de “acabados de productos textiles” representó un mercado de 68.095 millones de pesos solo en Colombia, generados a partir de procesos que involucran la aplicación y fijación de pigmentos y colorantes, la industria textil también está experimentando una importante tendencia mundial hacia la mejora de la sostenibilidad con el uso de insumos de origen natural.

El objetivo del presente trabajo es la recuperación de las antocianinas del exocarpio de café contenido en la pulpa, y su uso como pigmento en el sector de acabados textiles. Se realizó

una caracterización del material seguida por la optimización de la extracción de antocianinas empleando un diseño central compuesto, que evalúa el efecto del tiempo y la temperatura de extracción parametrizando la relación sólido-solvente en 1:3 p/v y la concentración de etanol en solución acuosa al 60 % p/p con un pH de  $2 \pm 0.05$ , la concentración de antocianinas se determinó empleando la norma AOAC 2005.02, encontrando que la combinación de tiempo y temperatura óptima es de 4.44 horas y  $51.55 \text{ }^\circ\text{C}$ , logrando la obtención de  $1.067 \frac{\text{mg}_{\text{cianidina-3-rutonisida}}}{100\text{g}_{\text{pulpa fresca de cafe}}}$ , el extracto obtenido es concentrado empleando un rotaevaporador hasta una concentración de  $25.067 \pm 0.56$  gramos de pigmento por cada litro de solución concentrada.

Finalmente, se evaluó el desempeño del pigmento sobre diferentes tipos de sustratos textiles como algodón, rayón, poliéster y nylon en composición del 100 %, se implementa serigrafía manual con el pigmento obtenido, formando una tinta tipo “base agua” y aplicándola a los sustratos. Para la evaluación de la solidez al color se emplearon las pruebas AATCC 8 (solidez del color al frote) y AATCC 64 (solidez del color al lavado doméstico), encontrando que el que sustrato textil con mayor afinidad es el rayón, con valores de solidez al frote de 4.5 y solidez al lavado de 4.

La investigación determinó las condiciones de tiempo y temperatura óptimas para la extracción de antocianinas a partir de la pulpa de café, así como la viabilidad técnica del uso de las antocianinas como pigmento en serigrafía textil especialmente en el sustrato de rayón 100 %.

*Palabras clave:* antocianinas, serigrafía textil, exocarpio de café, extracción, pigmentos.

---

## Obtención de nuevos agentes antifúngicos contra *Fusarium oxysporum*, basados en quitosano a partir de residuos del exoesqueleto de carídeos

*Diego Quiroga\**, *Carlos Coy Barrera*, *Luisa Fernanda Beltrán*,  
*Angely Álvarez*, *Laura Pacheco*, *Ericsson Coy Barrera*

Grupo Integrado de Investigaciones en Química Bioorgánica, Departamento de Química, Universidad Militar Nueva Granada, Km 2, vía Cajicá-Zipacquirá

\*diego.quiroga@unimilitar.edu.co

### Resumen

El quitosano es un biopolímero constituido por unidades de D-glucosamina ligadas de forma  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4), principalmente desacetiladas, y que hace parte de un amplio grupo de oligómeros de la D-glucosamina. Específicamente, el quitosano puede ser obtenido a partir de la quitina, el polímero natural más abundante después de la celulosa y componente principal del exoesqueleto de crustáceos, particularmente del infraorden carídea, más conocidos como carídeos o camarones. Desde un punto de vista práctico, las conchas de crustáceos marinos como los cangrejos y los camarones son residuos altamente aprovechables para la extracción de quitosano. Partiendo de los principios de la química circular, en el presente trabajo se llevó a cabo la extracción de quitosano y posterior derivatización, usando residuos de exoesqueleto de carídeos como materia prima. La quitina se obtuvo utilizando un método químico en el cual los residuos de exoesqueletos, secados a 60-70 °C hasta peso constante, fueron triturados y tamizados hasta la obtención de un polvo fino, el cual fue despigmentado con EtOH al 85 %, desmineralizado por tratamiento con HCl 1,5 N. La desproteinización del subproducto obtenido se llevó a cabo por tratamiento con NaOH 1M a una temperatura de 80 °C durante 2 horas. El proceso de desacetilación de la quitina resultante se efectuó por tratamiento con solución de NaOH

al 50 % a 100 °C. El rendimiento obtenido fue del 80 %. El quitosano extraído fue posteriormente derivatizado mediante la reacción de Schiff, con el respectivo compuesto dicarbónico, bajo irradiación de microondas a 120 °C durante 30 minutos. La caracterización del quitosano obtenido y los productos de derivatización fue realizada usando espectroscopia infrarroja (IR), cuyos resultados demostraron la formación de compuestos tipo enamina. Lo anterior se estableció a través de las bandas de absorción características para el estiramiento C=O, C=C-N y N-H. Posteriormente, se llevó a cabo la evaluación de actividad antifúngica in vitro frente al *Fusarium oxysporum*, usando medio suplementado a microescala, evaluando concentraciones entre 10-1000 ppm de cada uno de los derivados obtenidos. A partir de los resultados de porcentaje de inhibición del crecimiento micelial del fitopatógeno, fueron establecidos los valores de concentración inhibitoria media (IC<sub>50</sub>). Los resultados sugieren que la derivatización realizada sobre el quitosano mejora su actividad biológica, siendo el grupo enamina un posible toxóforo aprovechable para el diseño y obtención de nuevos agentes antifúngicos potencialmente aplicables al sector agrícola. El producto es un derivado del proyecto INV-CIAS-3412, financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada, vigencia 2021.

*Palabras clave:* quitosano, quitina, antifúngicos, *Fusarium oxysporum*, química circular.

---

## Analysis of the potential of lycopene and dietary fiber from a by-product of organic tomato processing as ingredients in functional food formulations

*Yhonattan Nicolás López, Juan Felipe Aldana, Andrea Sánchez-Camargo, María Hernández Carrión*

Grupo de Diseño de Productos y Procesos (GDPP). Departamento de Ingeniería Química y de Alimentos, Universidad de los Andes, Bogotá (Colombia)

\*yn.lopez@uniandes.edu.co

### Resumen

Food processing industries produce a significant amount of unused waste. Specifically, production of tomato-based products generates a percentage of waste of 5% composed mainly of peel and seed. Peel is one of the most untapped products. On one hand, it is a source of a significant variety of carotenoids. Among them, lycopene is the main carotene, which give them their characteristically red hue. On the other hand, peel also consists of a relevant amount of total dietary fiber (TDF). Both, carotenes, and dietary fiber are known to have functional effects on human body. Lycopene (at least 6mg/day) is known for the potential reduction of cardiovascular diseases and the improvement of skin health because of the increase in antioxidant activity. Similarly, dietary fiber has beneficial health effects such as preventing colon cancer, lowering the risk of cardiovascular disease, and reducing blood sugar. Therefore, the aim of this investigation was to determine the optimal recovery percentage of total carotenoid content. As well as evaluate the amount of TDF in a tomato peel sample obtained by a local processing industry. The tomato by-product sample was freeze drying and grounded before the extraction. For obtaining the enriched-carotenoid fraction, a set of extractions were carried out using ultrasound assisted extraction (UAE – 40 kHz - 45 mins, 40°C). For comparison,

a conventional extraction (CE) was made using acetone washes and a process of spinning (4000 RPM – 10 mins - 4°C) to separate the liquid and solid phases in each extraction until the sample was uncolored. A 2<sup>2</sup> UAE experimental design was proposed to evaluate the extraction process considering a mixture ratio of two solvents, namely, ethyl acetate (EA) and ethanol (ET) (80:20 and 20:80, respectively). In addition, biomass – solvent ratio was considered as a factor (5% w/v and 2.5% w/v) by using

1g of biomass. Recovery percentage of total carotenoid content in terms of  $\beta$ -carotene equivalent per g of sample was established as response variable. For the characterization of TDF, the AOAC method (991.43) was followed subtracting the total weight residue with the determination of ash and protein. Regards the results, optimization of UAE had been performed using a solvent ratio of 80 EA: 20 ET and 2.5% w/v of biomass – solvent ratio at 40 °C for 45 minutes. With these parameters, it was obtained a recovery percentage of total carotenoid content of 98%. That means, a total carotenoid content of  $253.89 \pm 19.39$  mg  $\beta$ - carotene equivalent/100 g on dry basis. The content of TDF was  $49.46 \pm 3.91$  (g/100g) on dry basis. Consequently, this study presented a solution towards unused tomato peel industrial by-product promoting the design of new functional food products with high content of carotenes and dietary fiber increasing nutritional and health benefits to consumers. Moreover, it shows a way out for applying a concept of sustainability and circular economy in all of the tomato-based products industries achieving some of the Sustainable Development Goals (SDG) published by the United Nations.

*Palabras clave:* Tomato peel, lycopene, total dietary fiber, sustainability, functional foods.

---

## Efecto de la temperatura, donador de $H_2$ y concentración de catalizador en la licuefacción hidrotermal de bagazo de caña

*Isacc Hernández\*, Paola Maradei, Rolando Acosta, Débora Nabarlatz*

Grupo de Investigación Interfase, Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, carrera 27, calle 9, Ciudad Universitaria Bucaramanga, Santander, Colombia

\*isacc2208134@correo.uis.edu.co

### Resumen

La actividad agroindustrial genera continuamente enormes cantidades de residuos lignocelulósicos con altos contenidos de humedad (85 % p/p). Estos residuos generalmente se utilizan como materia prima para la generación de energía a través de procesos termoquímicos convencionales. Estos procesos requieren de biomasa con bajos contenidos de humedad para que sean energéticamente eficientes, esto se debe al elevado calor de vaporización requerido para remover el agua. Por otra parte, los residuos agroindustriales son de gran interés como fuente para la producción de biocombustibles líquidos, debido a su alto contenido de hemicelulosa y celulosa. Una alternativa a lo expuesto anteriormente es la licuefacción hidrotermal (HTL) que permite licuar termoquímicamente biomasa altamente húmeda, aprovechando las propiedades del agua en estado subcrítico (250-350 °C, 4-20 MPa). La HTL se ha desarrollado teniendo en cuenta distintos parámetros de operación, como el tipo de biomasa, temperatura de reacción, donador de  $H_2$  y catalizador, entre otros. La variación de estos parámetros busca mejorar la conversión y calidad de los productos obtenidos. De acuerdo con lo anterior, se buscó evaluar el efecto de la temperatura, donador de hidrógeno y concentración de catalizador sobre el rendimiento de bio oil en la licuefacción hidrotermal de bagazo de caña. En este trabajo se evaluó temperaturas (280, 300, 320 °C), concentración de

carbonato de potasio (0, 0.5, 1 M) y presencia del donador de hidrógeno (etanol). De las pruebas realizadas se evidenció la variabilidad del rendimiento de bio oil con la presencia del catalizador, obteniendo un máximo (29.9 % p/p) a 300 °C, 0.5 M y en ausencia de donador H<sub>2</sub>. La presencia del donador de H<sub>2</sub> a las condiciones mencionadas anteriormente permitió aumentar el rendimiento de bio oil hasta 37.4 % p/p. Los resultados experimentales obtenidos en este estudio muestran que el etanol y el carbonato de potasio permiten mejorar la producción de bio oil en la licuefacción hidrotermal de bagazo de caña.

*Palabras clave:* licuefacción hidrotermal, donador de hidrogeno, catalizador, residuos agroindustriales, bagazo de caña.

## Potential of Soybean Straw for Lignin Solubilization

*Paula Gixina Ardila González<sup>1</sup>, Cibelem Iribarrem Benites<sup>2</sup>,  
Laura Plazas Tovar<sup>1</sup>, Juliana Otavia Bahú<sup>2</sup>, Nadia  
Gagliardi Khouri<sup>2</sup>, Viktor Oswaldo Cárdenas Concha<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>School of Chemical Engineering, Federal University of São Paulo (UNIFESP), São Nicolau S., Diadema, São Paulo, 09913-030, Brazil

<sup>2</sup>Laboratory of Petroleum Valuation (VALPET), School of Chemical Engineering, University of Campinas (UNICAMP), Josiah Willard Gibbs S., Campinas, 13083-839, Brazil

\*pg.ardila@gmail.com

### Abstract

The residues from the agro-industrial sector are still little explored, with on-site composting or incineration for energy recovery. However, such bio-based residue has been intensively studied as a platform for value-added chemicals as regarding the concept of biorefinery. In this case, the lignocellulosic biomass composed with cellulose, hemicellulose and lignin are the raw materials in the biorefinery. Lignin has increased

attention as a potential raw material because it has value-added applications such as resins, polymers, biofuels, chemicals, and carbon materials. According to this thought, the soybean is an attractive bio-resource to develop a robust biorefinery based on lignin, as its soybean straw yields lignin fraction with hydrolysis treatment. Thus, the objective of this work is to study the potential of soybean straw (residue from the soybean production chain) in the solubilization of lignin from primary biorefining. The studies were focused on the performance of the delignification process varying the temperature, solid's load and the concentration of the delignifying agent (sodium hydroxide - NaOH), as well as the influence of the precipitating agent on the lignin recovery. Among the results obtained, it was found that the soybean straw had a cellulose, hemicellulose and lignin content of  $38.6 \pm 0.98\%$ ,  $13.6 \pm 0.08\%$  and  $20.6 \pm 1.63\%$ , respectively. The solubilization of hemicelluloses (by acid hydrolysis) reported a solubilization of about 68.49%. The recovery of solids (cellulignin) was  $84.06 \pm 2.61\%$ , where 69.01% of the cellulose was recovered in this fraction. The delignification rate was in the range of 12.62 and 46.22 %, under mild temperature (50 - 60 °C), alkali concentration around 0.23 - 1.3 % m/v, and solid's load between (8 and 15 % v/v). Therefore, the most suitable condition for lignin recovery was under high conditions of temperature (70 °C) and alkali concentration (1.3%), while the solid's load (8%) was the lowest, resulting a delignification of 46.22 %. Such hydrolysis condition provided a greater breakage of the soybean straw's structures, that promoted an enhancing in the lignin solubilization.

*Keywords:* Soybean Straw, Biomaterials, Biorefinery.

---

## **Benchmarking del mercado para la formación de aceites esenciales a partir de cannabis medicinal**

*Liliana Katerin Flórez\*, Sergio Enrique Rozo, Lina Ximena Tovar, David Santiago Otálora, Laura Gaitán, Édgar Torres, Jeffrey León Pulido*

Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Ean, Bogotá, Colombia

\*lflorez03055@universidadean.edu.co

### **Resumen**

El conocimiento del mercado en la industria de procesos permite entender el comportamiento y crecimiento económico del sector, además, comprender los riesgos y el estado financiero de este. Un estudio del mercado nacional e internacional de organizaciones dedicadas a la extracción de aceites es realizado con el objetivo de comprender el tamaño de la industria extractiva y las empresas que lideran la industria en materia de extractos de cannabis. De esta forma, el presente estudio da un foco a la participación de Colombia en el segmento de mercado. A partir de una metodología cualicuantitativa se describe un estudio detallado de mercado las empresas líderes, sus ventas y ebitda estudiando el comportamiento nacional, en la región y en Latinoamérica. Dentro de los resultados encontrados, se puede observar que es un mercado que a través de los años se encuentra en crecimiento, en América Latina son muy pocos los países que participan en este mercado, y en Colombia apenas en los últimos años aparecen algunas organizaciones. Finalmente, el mercado nacional colombiano demuestra su dedicación a la producción y elaboración de productos naturales y materias primas (alimentos, cosméticos, otros) para la industria mediante la apropiación de los extractos de cannabis.

*Palabras clave:* quitina, estudio de mercado, quitosano, ebitda, industria.

## Reaproveitamento da Água na Desidratação de Frutas como Estratégia de Compensação na Pegada Hídrica

*Paula Gixina Ardila González<sup>1</sup>, Cibelem Iribarrem Benites<sup>2</sup>,  
Viktor Oswaldo Cárdenas Concha<sup>1</sup>, Laura Plazas Tovar<sup>1</sup>,  
Cristiana Maria Pedroso Yoshida<sup>1</sup>, Jeffrey Leon-Pulido<sup>3\*</sup>*

<sup>1</sup>School of Chemical Engineering, Federal University of São Paulo (UNIFESP), São Nicolau S., Diadema, São Paulo, 09913-030, Brazil

<sup>2</sup>School of Chemical Engineering, University of Campinas (UNICAMP), Josiah Willard Gibbs S., Campinas, 13083-839, Brazil

<sup>3</sup>School of Chemical Engineering, Ean University, Calle 79 # 11 – 45, Bogotá D.C., Colombia.

\* jleomp@universidadean.edu.co

### Resumo

Na América do Sul o uso excessivo de recursos naturais tem causado emergências e racionamento nos últimos anos. A maior parte da água é extraída de aquíferos, que têm diminuído progressivamente seu fluxo; porém apresentasse o aumento da demanda de água pelo uso industrial. A implantação de sistemas que possibilitem a recuperação de água de processo é uma estratégia que permite às organizações gerar sustentabilidade em compensação da pegada hídrica. Este projeto tem como objetivo a indústria de alimentos, especificamente o aproveitamento da água no processo de lavagem das frutas na operação de desidratação, identificando a matéria-prima com maior demanda na planta de processo, permitindo assim a comparação entre as condições da água obtida e o planejamento do sistema de tratamento para sua posterior reutilização. Os resultados do trabalho permitiram determinar as propriedades físicas e químicas da água do processo, quantificar os parâmetros fundamentais como pH, condutividade e turbidez. Favorecendo o desenvolvimento de uma configuração experimental por meio de filtração por gravidade com diferentes sistemas de filtração (antracita, zeólita, carvão ativado), como tratamento da água. O sistema foi proposto a partir dos

percentuais de absorção de água para abacaxi, morango e amora-preta, sendo 2,63, 7,98 e 15,29 % correspondentemente. Viabilizando a proposta de tratamento da água utilizada na lavagem das frutas, com o uso de um leito composto por 70 % de antracita granular e 30 % de zeólita. Possibilitando o aproveitamento da água de processo, pois o sistema modular proposto reduziu os parâmetros físico-químicos da água em 70% para cumprir os regulamentos internacionais para água potável.

*Palavras-chave:* reaproveitamento, água de processo, pegada hídrica, leito filtrante, água potável.

## **Benchmarking del mercado de quitina y quitosano en Latinoamérica**

*Nathalia Peña Mogollón<sup>1</sup>, Juan Ángel Méndez Cárdenas<sup>1</sup>,  
Samir Meramo Hurtado<sup>2</sup>, Ángel Darío González Delgado<sup>3</sup>,  
Daniela Silvia Mainardi<sup>4</sup>, Jeffrey León Pulido<sup>1\*</sup>*

1Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Ean, Bogotá, Colombia

2Nordisk Center for Biosustainability, Technical University of Denmark, Copenhagen, Dinamarca

3Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Colombia

4Department of Chemical Engineering, Louisiana Tech University, USA

\*npenam63843@universidadean.edu.co

### **Resumen**

Un análisis del mercado en la industria de procesos es fundamental para entender el comportamiento y crecimiento económico del sector, además de determinar su tamaño de mercado. Una observación al mercado nacional e internacional de la quitina y el quitosano es realizado con el objetivo de identificar las tendencias, el tamaño y las empresas que lideran la industria, dando un foco a la participación de

Colombia en el segmento de mercado. A partir de una metodología cualicuantitativa se describe un estudio detallado de mercado, que incluye el ebitda de las empresas líderes, y el comportamiento nacional en la región y en Latinoamérica, todo esto como soporte para la primera decisión que se debe tomar a la hora de diseñar un nuevo sistema de producción o servicio alrededor de la industria de quitina y quitosano. Dentro de los resultados encontrados, se puede observar que es un mercado que a través de los años se encuentra estable y en crecimiento, en América Latina son muy pocos los países que participan en este mercado, pero aun así presentan empresas saludables financieramente, según el ebitda. Por otro lado, está el mercado nacional colombiano, con empresas dedicadas a la producción y elaboración de productos naturales y materias primas (alimentos, cosméticos, tratamiento de aguas, otros) para la industria mediante transformación de la quitina y el uso del quitosano. Finalmente, es determinado el tamaño de mercado y su comportamiento en los últimos 5 años.

*Palabras clave:* quitina, estudio de mercado, quitosano, ebitda, industria.

---

# VII

## Petróleo y gas, minería y energías alternativas

La industria del petróleo y gas, así como la minería, han sido históricamente una fuente importante de energía y materiales para la economía mundial, pero también han tenido un impacto significativo en el medio ambiente y la salud humana. La ingeniería química ha desempeñado un papel importante en la mitigación de los impactos negativos de estas industrias, y en la búsqueda de soluciones más sostenibles. En la industria del petróleo y gas, por ejemplo, los ingenieros químicos han desarrollado tecnologías para la extracción de petróleo y gas de manera más eficiente y segura, reduciendo la cantidad de residuos y emisiones contaminantes. También han trabajado en el desarrollo de tecnologías de almacenamiento y transporte de hidrocarburos más seguras y eficientes. Además, la ingeniería química ha desempeñado un papel importante en el desarrollo de tecnologías de energías alternativas, como la eólica, la solar y la geotérmica. Estas tecnologías tienen un menor impacto ambiental y contribuyen a reducir la dependencia de los combustibles fósiles. La ingeniería química también está trabajando en el desarrollo de nuevos materiales, como los compuestos y los bioplásticos, que tienen un menor

impacto ambiental y son más sostenibles que los materiales tradicionales. En la industria minera, los ingenieros químicos han desarrollado tecnologías para la extracción de minerales de manera más eficiente y segura, reduciendo la cantidad de residuos y emisiones contaminantes. También han trabajado en el desarrollo de tecnologías para la recuperación de metales de residuos y para la reutilización de aguas residuales. Como tal, la ingeniería química tiene un papel importante que desempeñar en la búsqueda de soluciones más sostenibles en las industrias del petróleo y gas, la minería y las energías alternativas. El desarrollo de tecnologías más eficientes y sostenibles, junto con una mayor conciencia y compromiso por parte de las empresas y la sociedad en general, son clave para lograr un futuro más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

## Kinetic parameters determination by pyrolysis of biomass using bio-inspired optimization algorithm

*Camilo Monroy-Peña<sup>a\*</sup>, Johana Orjuela<sup>b</sup>, Rolando Mendoza<sup>c</sup>, Julio Cesar Vargas<sup>d</sup>, Sonia Rincón<sup>e\*</sup>*

<sup>a</sup>Departamento de Ingeniería Química, Universidad EAN,

<sup>b</sup>Departamento de Ingeniería Química, Universidad de la Salle,

<sup>c</sup>Cundinamarca Agroambiental, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca,

<sup>d</sup>Grupo de Ingeniería de Sistemas de Proceso, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia,

<sup>e</sup>Grupo de Investigación en Biomasa y Optimización Térmica de Procesos BIOT, Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Universidad Nacional de Colombia.

\*camonroy@unal.edu.co

### Abstract

Biomass pyrolysis is a thermochemical conversion process that is of both industrial and ecological importance. From the design and operation of industrial biomass conversion

systems to reactor modelling, it is imperative to understand the kinetics of solid-state pyrolysis. Biomass pyrolysis often consists of complicated multiple reactions, and it is not easy to determine the reaction mechanism in the detail necessary to formulate reaction kinetics. Therefore, several simplified models have been suggested. From designing and operating industrial biomass conversion systems to modelling the reactors, understanding kinetics of solid-state pyrolysis is imperative. Biomass pyrolysis generally consists of complicated multiple reactions, and it is not easy to determine the reaction mechanism in the detail necessary to formulate the reaction kinetics. Thus, several simplified models have been suggested.

One simplified kinetic model for biomass pyrolysis involves lumping the complicated multiple reactions together as a single first-order or *n*th-order reaction. Several authors have attempted to model the decomposition behaviour of biomass by planting independent three-reaction models for each biomass component, but with changes in biomass composition or heating ramp the model does not fit the experimental results. Several authors have attempted to model the behavior of biomass decomposition by proposing independent three-reaction models for each component, but with changes in biomass composition or heating ramp the model does not fit the experimental results. Another problem lies in the methods used to separate the biomass components (cellulose, hemicellulose and lignin) by chemical treatments that can degrade their structures.

In the present work, the thermal decomposition of lignocellulosic biomasses and their enzymatically separated component (degrading cellulose or lignin) was carried out. The following agroindustry residues were used as biomass sources: sugar cane bagasse, palm shell and corn bagasse.

A D-optimal experimental design was used and the models were validated using the Fisher-Snedecor test for all categories. Different heating ramps and biomass compositions were used in the experimental design. The following models were compared:

- 1) Model of 3 independent reaction model for each biomass component.
- 2) Model of 4 independent reactions. Previous results determined the presence of two peaks in the thermogravimetric analyses for lignin (two types of lignin present in biomass)

Finally, the modified Non-Dominated Sorting Particle Optimization (NSPSO) multi-objective optimization algorithm was used to find the kinetic parameters together with the maximum likelihood method for the approach of the objective functions.

We found that applying the validation model with the Fisher-Snedecor test yielded a generalized model for the four-pseudo-order reaction, allowing to reduce the confidence interval of the kinetic parameters in comparison with the three-pseudo-order model. In addition, for the 3-reaction model it was obtained that it is of generalized behaviour, while the 4-reaction model is of common knowledge.

*Palabras clave:* Pyrolysis Biomass, Kinetic Parameters, Bioinspired optimization.

## Evaluación técnica y económica de la producción de biodiésel a partir de aceite usado de cocina en Colombia

*Mercedes Vera Mahecha, Felipe Vargas Torres,  
Mario Andrés Noriega Valencia\**

Grupo de Investigación en Procesos Químicos y Desarrollo Sostenible,  
Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de La  
Salle, carrera 2 # 10-70, Bogotá, Colombia \*mvera27@unisalle.edu.co

### Resumen

El biodiésel es un combustible renovable que se obtiene de la transesterificación de aceites vegetales, su uso reduce el impacto ambiental y aumenta la vida media de las reservas colombianas de hidrocarburos. La demanda nacional de biodiésel en Colombia ha tenido un crecimiento constante, produciendo actualmente más de 45.000 toneladas mensuales. En esta investigación se llevó a cabo la caracterización fisicoquímica del aceite usado de cocina, se desarrolló la cinética de la reacción de esterificación ácida del aceite

pretratado y, finalmente, se determinó la prefactibilidad técnica y económica de la producción de biodiésel a partir de aceite usado de cocina en Colombia. Este proyecto se realizó en seis etapas, en la primera se determinó la escala del proceso, en la segunda la cinética de esterificación de ácidos grasos en el aceite a tres diferentes temperaturas (50-55-60 °C) usando  $H_2SO_4$  en una relación del 1 % p.p. respecto al aceite. En la tercera etapa se estudió la reacción de transesterificación básica (NaOH al 1 % p.p. respecto al aceite), en la cuarta se realizó la separación y purificación del biodiésel, en la quinta se realizó la caracterización físico-química del biodiésel producido, finalmente, en la sexta etapa se realizó el diseño preliminar de proceso generando el diagrama de flujo de proceso (PFD), los balances de materia y energía, el dimensionamiento de la planta y equipos y la estimación de los principales indicadores económicos del proyecto. Entre los principales resultados de este trabajo se destaca que el aceite usado de cocina presenta un valor ácido de  $15.708 \frac{mg KOH}{g \text{ de aceite}}$  y una viscosidad de 111,7 cP. La esterificación ácida de los ácidos grasos en el aceite presentó un factor de frecuencia de  $25.17 \cdot 10^9 \text{ min}^{-1}$  y una energía de activación de  $78.85 \frac{kJ}{mol}$ . El proyecto se localizó en la ciudad de Bogotá con una escala de  $8.61 \frac{Ton}{h}$  de biodiésel con una operación de 8000 h al año. La utilidad operacional en planta se estimó en \$67.000.000, para una inversión de \$764.000.000, la VAN y TIR se estimaron, respectivamente, en \$40.000.000 y 23 %, permitiendo concluir que la producción de biodiésel a partir de aceite usado en Colombia presenta viabilidad técnica y económica.

*Palabras clave:* aceite usado de cocina, biodiésel, caracterización del aceite, cinética de reacción, prefactibilidad técnica y económica.

---

## Diseño preliminar de la etapa de remoción de ácidos grasos libres en la producción de biodiésel de aceite de palma

*Javier Stiven Cristancho Mora\*, Daniel Steven Cañón Pineda, Mario Andrés Noriega Valencia\**

*Grupo de Investigación en Procesos Químicos y Desarrollo Sostenible, Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle, carrera 2 # 10-70, Bogotá, Colombia*

*\*jacristancho11@unisalle.edu.co*

### Resumen

El interés en el empleo de grasas y aceites para la producción de biocombustibles en Colombia ha crecido debido a la necesidad de reducir emisiones de efecto invernadero y a la reducción de reservas de hidrocarburos. El biodiésel es un combustible líquido ecológico, alternativo, no tóxico y biodegradable que se produce mediante transesterificación, en donde es necesario eliminar o remover previamente los ácidos grasos libres (AGL) del aceite, con el fin de evitar reacciones no deseadas como la formación de jabones o saponificación. El presente trabajo se centró en el modelamiento y diseño de la etapa de remoción de estos componentes del aceite de palma para la producción del biocombustible, haciendo una selección entre varias técnicas reportadas y llevando a cabo el dimensionamiento de los principales equipos involucrados en el proceso a nivel industrial. Mediante una extensa revisión bibliográfica, el empleo de ponderación de criterios y una matriz DOFA, se demostró que la técnica más adecuada para la remoción de AGL es la desodorización, obteniendo un puntaje de 4.06/5 en criterios como el rendimiento, la facilidad de operación, la reducción de costos, el uso de materiales no contaminantes y la madurez tecnológica. Con el fin de evitar sobrecostos derivados de la economía de escala se propone una escala de proceso de 8 ton/h de aceite crudo de palma. Los resultados

sugieren que a partir de dicho valor de entrada es posible alcanzar una producción aproximada entre 7-8 ton/h de aceite libre de AGL. El presente estudio permite concluir que el empleo de desodorización en el pretratamiento de aceite de palma es la alternativa más prometedora para la remoción de AGL, adicionalmente posee viabilidad técnica y económica en el contexto colombiano.

*Palabras clave:* biodiésel, ácidos grasos libres, aceite de palma, pretratamiento, desodorización.

## ***Eichhornia crassipes* contaminada con mercurio como un generador de biogás**

*Amaury Rafael Bossio Sánchez, José Luis Marrugo Negrete\**

*Grupo de Investigación en Aguas, Química Aplicada y Ambiental - GAQAA Universidad de Córdoba, Colombia*

*\*arbs8007@gmail.com*

### **Resumen**

La *Eichhornia crassipes* (EC) es considerada como una maleza nociva en muchas partes del mundo, ya que su vertiginoso crecimiento agota el oxígeno y los nutrientes rápidamente en los cuerpos de agua, afectando negativamente a la flora y la fauna. El objetivo de este estudio fue determinar el rendimiento en la producción de biogás usando la EC como sustrato único proveniente de una zona contaminada por metales pesados (Mojana, Colombia) y en codigestión con el estiércol de vaca como inóculo, teniendo en cuenta que la producción de biogás a través de la digestión anaeróbica (AD) de materiales orgánicos de desecho ofrece una alternativa ecológica de energía renovable. En este estudio, se evaluó la producción de biogás a partir de la digestión de EC con estiércol de vaca (codigestor, CD) en diferentes composiciones porcentuales,

según el diseño experimental de optimización-superficie respuesta, los porcentajes EC y AC estuvieron en los rangos de composición de 8.8 a 26.4 % y 2.6 a 7.7, respectivamente, y la respuesta estimada fue el porcentaje de metano generado. Todas las digestiones se realizaron en condiciones mesófilas (38 °C) usando digester Batch en el laboratorio de toxicología ambiental en la Universidad de Córdoba, Colombia. En todos los tratamientos se determinó los sólidos totales (ST) y volátiles (SV), carbono orgánico, porcentaje de humedad, pH y Hg-total antes y después de cada digestión. La producción de biogás se midió por el método de desplazamiento de agua para los siguientes 32 días. Los resultados muestran un valor óptimo de eficiencia para la producción de metano de 60.91 % en las condiciones de composición % EC 26.4 y % AC 7.7 teniendo una mayor influencia la variable AC (codigestor) en la respuesta generada para la digestión. Se destacan el buen comportamiento de los tratamientos T1: 8.8%EC-2.6%AC; T3: 8.8%EC-7.7%AC y T6: 8.8%EC-5.1%AC en cuanto a la favorabilidad de las variables pH, % humedad, % carbono, TS y VS en la generación del biogás. Para todos los tratamientos los porcentajes de Hg-T retenidos después de la digestión anaeróbica estuvieron entre 84.74 y 92.59 % para los tratamientos T4 y T5 respectivamente, estos valores indican que el Hg-T se mantiene en la biomasa aun después de la digestión anaeróbica, con porcentajes encima del 80 %. En cuanto a los subproductos de la digestión anaeróbica los resultados indican que pueden ser utilizados como abonos orgánicos líquidos, según la norma NTC 5167.

*Palabras clave:* biogás, buchón de agua, Eichhornia crassipes, contaminación con mercurio, biogenerador.

---

## Detección de intermediarios de oxidación de alcohol bencílico catalizado por óxidos metálicos en modo operando

Valentina Erazo<sup>1,2</sup>, Tatiana A Tobar<sup>1,2\*</sup>, Luz M. Ballesteros Rueda<sup>1,2</sup>, Wilson G. Oyola<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación Catálisis, Universidad Industrial de Santander, Colombia

<sup>2</sup>Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Colombia

<sup>3</sup>Escuela de Química, Universidad Industrial de Santander, Colombia

\*[tatianatobarcs@gmail.com](mailto:tatianatobarcs@gmail.com)

### Resumen

Durante el proceso de combustión *in situ*, en recuperación mejorada de petróleo, se producen oxidaciones parciales de los hidrocarburos del yacimiento a bajas temperaturas, menores a 204 °C que inician la formación del perfil de temperatura necesario. Las reacciones de oxidación a bajas temperaturas (LTO, por sus siglas en inglés) consumen el oxígeno del aire inyectado y producen gas de combustión (que contiene principalmente NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> e hidrocarburos ligeros) para desplazar el crudo. El efecto térmico generado por la reacción representa una disminución significativa de la viscosidad del petróleo, permitiendo así el desplazamiento a través del medio poroso. Por eso es necesario tratar de entender las reacciones a bajas temperaturas, a partir de mediciones de intermediarios con la celda *Drift* en modo operando, ya que este análisis permite conocer las rutas de una reacción en específico. Para llevar a cabo estos análisis se tuvo en cuenta la técnica de espectroscopía *Drift*, donde se evidencia la detección de intermediarios de reacciones de oxidación de CO sobre un catalizador de Au/TiO<sub>2</sub> [4] y la oxidación catalítica de metanol con oxígeno molecular (combustión catalítica) ©-alúmina y Pd-Pb/©-alúmina como catalizadores.

En este proyecto se estudiaron los intermediarios en las reacciones de oxidación de alcohol bencílico (C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>O)

representativo de los compuestos oxigenados del crudo a bajas temperaturas (140 °C), usando catalizadores de óxidos metálicos en modo operando (*Drift*). La temperatura para las oxidaciones del alcohol bencílico (AB) se obtuvo por medio de análisis termogravimétrico (TGA) y calorimetría diferencial de barrido (DSC) previamente realizados.

Posteriormente, se detectaron intermediarios a partir de picos de absorción infrarroja de la presencia de benzaldehído como producto de la reacción en las regiones entre los 1800  $\text{cm}^{-1}$  y 1000  $\text{cm}^{-1}$ , y también de dichos intermediarios en ciertas regiones del espectro, evidenciando que es posible realizar la oxidación de alcohol bencílico en modo operando (*Drift*) a bajas temperaturas. Con base en los resultados obtenidos se logró identificar que el  $\text{MnO}_2$  es un catalizador en el cual las reacciones de oxidación se generan a bajas temperaturas, adicionalmente se logran identificar los intermediarios de esta reacción que efectúan un recorrido hacia benzaldehído.

*Palabras clave:* bencílico, catalizar, oxidación.

## **Estudio del efecto de sales hidrotópicas sobre el comportamiento reológico de surfactantes aniónicos usados en recobro mejorado de petróleo**

*Jheriany Camila Ruiz Duarte, Angie Melissa Suárez  
Mejía, Ronald Alfonso Mercado Ojeda\**

*Grupo de Investigación en Fenómenos Interfaciales, Reología y Simulación de Transporte  
- First, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander  
\*angiemelissasm@gmail.com*

### **Resumen**

La recuperación terciaria y/o mejorada de petróleo (RMP), es un método que usa técnicas eficientes para extraer el crudo residual en el yacimiento luego de la recuperación primaria y secundaria. Una de las técnicas de operación en RMP es la inundación química con polímeros y/o soluciones de

surfactantes; el método de drenaje micelar/polímero ha sido probado en varios ensayos de laboratorio con resultados no concluyentes. La solución de polímero al ser sometida a condiciones de operación como altas temperaturas, salinidades, cizallamientos, entre otras, causan la disminución de su efecto viscoso en la fórmula, siendo necesaria la inyección de nuevas soluciones poliméricas. Por este motivo, se hace necesaria la búsqueda de nuevas técnicas enfocadas en aumentar el porcentaje de recuperación de hidrocarburos, reducir costos y ser sostenible ambientalmente. Uno de los métodos más prometedores es la inyección de surfactantes para disminuir la tensión interfacial crudo/agua. Sin embargo, los surfactantes comúnmente usados, a pesar de lograr reducciones considerables de las tensiones interfaciales, no aumentan la viscosidad de la fórmula a inyectar. En el presente proyecto se estudia el efecto de 3 diferentes sales hidrotópicas sobre el comportamiento reológico de una solución de surfactante aniónico usado en RMP a varias salinidades, con el fin de aumentar la viscosidad de la formulación a partir del aumento de las interacciones del complejo surfactante aniónico-sal hidrotópica. Se seleccionaron tres sales con diferentes tamaños de cadenas hidrocarbonadas y un surfactante aniónico de tipo extendido. Se construyeron los diagramas con los perfiles de viscosidad frente a la tasa de corte ( $\mu$  vs  $\dot{\gamma}$ ) para conocer el comportamiento del sistema surfactante aniónico-sal hidrotópica. En las curvas de algunos sistemas se observó un importante aumento en el perfil de viscosidad y desviaciones de la ley de Newton. De esta forma, se puede evidenciar un incremento en el comportamiento reofluidizante de las soluciones del complejo en el rango de velocidades de corte estudiado, y un aumento de las propiedades viscoelásticas. Los módulos  $G'$  y  $G''$  presentan un crecimiento proporcional al incrementarse la frecuencia angular. El módulo de almacenamiento ( $G'$ ) siempre está por encima del módulo de pérdida ( $G''$ ), lo que indica un comportamiento más elástico que viscoso. Los valores de los módulos están en el orden de 0,1-100 [Pa], lo que indica

que esta solución no solo es refluidizante, sino que también presenta viscoelasticidad.

*Palabras clave:* reología, recuperación mejorada de petróleo, surfactantes, sal hidrotrópica, fluido refluidizante.

## Determination of Crude Oil Viscosity by Rheological Models for Optimization in Separation Processes

*Juliana Otavia Bahú<sup>1</sup>, Nadia Gagliardi Khouri<sup>1</sup>, Nahieh Toscano Miranda<sup>1</sup>, Paula Gixina Ardila González<sup>2</sup>, Viktor Oswaldo Cárdenas Concha<sup>2</sup>, César Benedito Battistela<sup>1</sup>, Maria Regina Wolf Maciel<sup>1</sup>, Maria Ingrid Rocha Barbosa Schiavon<sup>1</sup>, Rubens Maciel Filho<sup>1\*</sup>*

*1Laboratory of Petroleum Valuation (VALPET), School of Chemical Engineering, University of Campinas (UNICAMP), Josiah Willard Gibbs S., Campinas, 13083-839, Brazil*

*2School of Chemical Engineering, Federal University of São Paulo (UNIFESP), São Nicolau S., Diadema, São Paulo, 09913-030, Brazil*

*\*juliana.bahu@gmail.com*

### Abstract

Water-in-crude-oil emulsions are a concern on petroleum production, especially at offshore exploitation platforms. The presence of natural surfactants in the petroleum (asphaltenes) stabilizes the water-in-oil (W/O) emulsion by preventing the coalescence of water drops. Since this emulsion is an unstable thermodynamic system composed of two immiscible phases, the amphiphilic asphaltene molecule promotes kinetic stability for the crude oil, due to its interfacial action that gives rigidity to this layer. Therefore, the water-in-crude oil emulsion needs heating to favor the phase separation because it reduces the oil viscosity, increases the collision rate probability, and gives flexibility to the interfacial layer. According to this thought, it is necessary to monitor the crude oil viscosity reduction under

heating to determine the minimum temperature where there is no significant change in its viscosity. Such determination has great importance in the crude oil emulsion breaking in separation processes, like electrostatic desalting. Besides that, a minimum viscosity also favors the demulsifiers migration to the micelle interface, where contains asphaltenes, increasing the probability of surfactant replacement and effective phase separation. Although heating has a great effect on the viscosity of crude oils, the petroleum nature (e.g., water content, droplet size, and high molar mass compounds) also affect its properties. Therefore, this study evaluated the flow and viscosity curves of 02 different crude oils regarding the temperature (20 – 80 °C), and shear rates ranging from 0.1 to 1,000 s<sup>-1</sup>. Then, to verify the viscosity value of the crude oil, some rheological models (Ostwald de Waele, and Herschel-Bulkley) helped this calculation. Higher temperatures implied a Newtonian behavior, as the waxes melted, besides that, the crude oil with higher impurity contents (water, salt, and sediments) showed the higher viscosity at 20 °C, while the 02 oils presented a similar profile at temperature  $\geq 60$  °C. The study supports the view that the temperature at which the viscosity of crude oil changes the least is a suitable condition for the separation process, with sustainable impact and energy consumption reduction without depriving the emulsion-breaking performance.

*Keywords:* Crude Oil, Modeling, Newtonian Behavior, Rheology, Viscosity.

---

## Shale oil as a Viable Substitute for Crude Oil in an Atmospheric Distillation Unit

*Nadia Gagliardi Khouri<sup>1</sup>, Juliana Otavia Bahú<sup>1</sup>, Willian Marchioli<sup>2</sup>, Paula Gixina Ardila González<sup>2</sup>, Cibelem Iribarrem Benites<sup>1</sup>, Viktor Oswaldo Cárdenas Concha<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Laboratory of Petroleum Valuation (VALPET), School of Chemical Engineering, University of Campinas (UNICAMP), Josiah Willard Gibbs S., Campinas, 13083-839, Brazil

<sup>2</sup>School of Chemical Engineering, Federal University of São Paulo (UNIFESP), São Nicolau S., Diadema, São Paulo, 09913-030, Brazil

\*khouri.g.nadia@gmail.com

### Abstract

High dependence on crude oil and its market shortage promotes alternative and unconventional energy sources. In this context, shale oil is an attractive option, because it has abundant reserves around the world and an efficient extraction process. Fuel oil can be extracted from shale, which can be used as a substitute for diesel or kerosene or can be refined to obtain lighter oils and chemical specialties. Shale oil is conventionally extracted by thermal decomposition of the mineral and its organic matter, in a process denominated retorting. The main routes for processing shale oil practiced on an industrial scale are distillation and cracking, processes that have operational limitations due to the physical properties of the oil. Although numerous retorting methods are well-known, it is important to define if a refining process is viable after extraction. This viability is confirmed if the shale oil produces the required valuable products. Thus, this work analyzes the initial refining process of a shale stream by implementing an atmospheric distillation in Aspen Plus<sup>®</sup> v7.3 with naphtha, kerosene, diesel, and atmospheric residue as its final products. The system successfully separates the shale's light components, producing valuable compounds. Yields of 3.40E-02 %; 16.02 % and 16.00 % were achieved for diesel, kerosene, and naphtha, respectively, proving that the shale oil

analyzed is a viable material for an atmospheric distillation unit. Within these routes, sensitivity analysis can be applied to identify the main parameters that affect the process output. This work also proposes the use of data mining as a tool for sensitivity analysis automatically. Using automatic learning methods such as regression tree and linear regression implemented on KNIME software, it was possible to obtain interpretable models that present the order of importance of the parameters of a shale refinement plant at the naphtha stream in output of the process. The contribution of each parameter was validated with the regression coefficients and the branch nodes of regression tree, which indicated that pressure and flow of vapor stream in pre-flash are the most sensible parameters, and it was possible to find the configuration that maximized the naphtha output of the process.

*Keywords:* Shale Oil, Simulation, Data Mining, Sensitivity Analysis, Distillation.

---

# VIII

## Medio ambiente y cambio climático

La variabilidad de los regímenes pluviométricos, la contaminación atmosférica, las olas de calor, los volúmenes de nieve, el nivel del océano, la migración de especies endémicas, entre muchos otros, son consecuencias directas del daño a la capacidad del ambiente para ser proveedor de condiciones óptimas para el desarrollo de la vida. A estas alteraciones del ambiente se les denomina “cambio climático”. Por ello, constantemente distintas áreas del conocimiento trabajan de manera conjunta o individual para promover soluciones que mitiguen o radiquen los efectos de la población, las industrias hacia el ambiente y de forma viceversa. Se busca una transición energética, sintetizar compuestos con menor peligrosidad, generar menos residuos, el tratamiento adecuado de factores del ambiente y de ser posible reutilizar materias primas. El uso de combustibles es uno de los factores más contaminantes y a quien van enfocadas muchas investigaciones para erradicar la explotación de suelos ricos en fósiles o minas de carbón, se trabaja en la producción de combustibles menos dañinos con el ambiente como el biodiésel, el biogás y el hidrógeno, como también la purificación y el tratamiento de aguas residuales.

## ***Achromobacter deleyi* IL8, una alternativa para el mejoramiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria farmacéutica**

*Paola Bautista Duarte, Laura Pramparo\**

Doctorado en Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, carrera 11 # 101-80, Bogotá

\*laura.pramparo@unimilitar.edu.co

### **Resumen**

Actualmente, se encuentran dentro de los sistemas acuáticos trazas de una serie de compuestos químicos que han sido denominados por los científicos como contaminantes emergentes. Algunos de estos elementos están relacionados con sustancias como productos de cuidado personal, resinas, antibióticos o analgésicos antiinflamatorios no esteroides que aún no se encuentran legislados por las autoridades ambientales, pero que estudios recientes demuestran que su presencia en los ecosistemas es cada vez más frecuente y genera riesgos para el desarrollo de la flora y la fauna. Una de estas sustancias y que es de uso frecuente, así como de venta libre en algunos países latinoamericanos es el acetaminofén, clasificado como aines y uno de los analgésicos de mayor venta por unidad en Colombia. Tomando en cuenta lo anterior, y con base en estudios que identifican su presencia en cuerpos de agua superficial como el río Bogotá, se decide evaluar la *Achromobacter deleyi* IL8 (GenBank: MT271878) para determinar su eficiencia en cuanto a la remoción de materia orgánica medida por la demanda química de oxígeno (DQO) y el uso de acetaminofén como fuente de carbono, que permita convertirse en una alternativa biológica para el mejoramiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de industrias farmacéuticas en el país, reduciendo el impacto y presencia de este tipo de sustancias en los sistemas acuáticos. Los resultados demostraron que la *Achromobacter deleyi* IL8 en 48 horas

puede realizar la remoción del 87 % de DQO, actuando de manera individual; adicionalmente, este microorganismo nativo puede realizar la remoción del 97 % de acetaminofén en ensayos controlados, con una concentración inicial de 357 mg/L, tomando en cuenta los resultados que se obtienen en el análisis realizado por cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas en tándem (LC-MS/MS), se detectaron metabolitos secundarios con masa de 110 m/z y 121 m/z que pueden corresponder a la generación de hidroquinona e hydroxyhydroquinona, respectivamente, llevando a inferir que el microorganismo utiliza la ruta de degradación vía hidroquinona para la metabolización del acetaminofén, y que probablemente puede convertirlo en un ácido orgánico que al llegar a los ecosistemas puede ser incorporado eficazmente dentro de los ciclos biogeoquímicos, y de esta manera evitar impactos negativos por la presencia del analgésico a la naturaleza. El uso de microorganismos nativos se convierte en una alternativa para el mejoramiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, aprovechando sus capacidades metabólicas que permita trabajar en la remoción de contaminantes emergentes como lo son los aines.

*Palabras clave:* acetaminofén, tratamiento de aguas, microorganismos nativos.

---

## Análisis del desempeño ambiental del proceso de producción de biohidrógeno a partir de la fermentación de residuos sólidos orgánicos de origen urbano

*Jhessica Mosquera<sup>1</sup>, Liza Acevedo<sup>1</sup>, Carol Rangel<sup>2</sup>, Iván Cabeza<sup>3\*</sup>, Paola Acevedo<sup>1,4</sup>*

<sup>1</sup> INAM-USTA, Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Ean, Bogotá, Colombia

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería - Ingeniería Química, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia

<sup>4</sup> Ingenio Induspymes, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Cooperativa de Colombia, avenida caracas 37-63, Bogotá, Colombia

\*icabeza@unisalle.edu.co

### Resumen

En Colombia, existen diferentes mecanismos gubernamentales que apoyan la transición hacia el uso de materias primas renovables para la producción de químicos, combustibles y materiales como estrategia para el crecimiento de sistemas de producción ambientalmente sostenibles. Esto sumado a la alta disponibilidad de residuos sólidos orgánicos de origen urbano, constituye una oportunidad para la generación de nuevas cadenas de valor que supongan su aprovechamiento a través de tecnologías de base biológica. Estos residuos son resultantes de la rápida urbanización, el crecimiento poblacional y la ampliación de las cadenas de suministro de alimentos; por lo que su manejo es crítico para la reducción de los efectos negativos que tiene su actual disposición. Por otro lado, la producción de biohidrógeno por fermentación oscura es un proceso ampliamente estudiado debido a sus altos rendimientos en términos de la producción de hidrógeno, y su capacidad en el tratamiento de biomasa residual. En años recientes, se ha incrementado el número de estudios en torno a la valorización de biomasa residual a partir de la fermentación oscura, por lo que existen evaluaciones acerca de los rendimientos asociados

al aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos de origen urbano. En consecuencia, este trabajo se enfoca en evaluar el desempeño ambiental de una planta de producción de biohidrógeno a escala real para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, provenientes de una plaza de mercado en Bogotá. Basados en un potencial bioquímico de producción de hidrógeno de 1032 mL/g SV, se realizó el dimensionamiento técnico de un proceso de fermentación oscura enfocado en el tratamiento del residuo y la producción de energía. El análisis se llevó a cabo empleando la metodología de análisis de ciclo de vida, donde se evaluó el proceso “puerta a puerta” basados en información primaria, y evaluado bajo el método CML. La mayor contribución a la categoría de cambio climático resulta de la necesidad térmica del reactor y el consumo energético general de la planta. Los resultados demuestran la viabilidad ambiental del aprovechamiento energético de los residuos a través de la fermentación oscura. Futuros estudios podrían evaluar el desempeño ambiental teniendo en cuenta los impactos evitados debidos al manejo de biomasa residual.

*Palabras clave:* biohidrógeno, biomasa residual, análisis de ciclo de vida, bioeconomía.

---

## Análisis de ciclo de vida comparativo del aprovechamiento energético de semillas de aguacate: pirólisis y combustión

*Mayra Alejandra Arias Ocampo, Karol Ximena Salazar Rivera, Andrés Felipe Rojas González\**

*Grupo de Investigación en Aprovechamiento de Residuos, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Campus La Nubia, vía al Aeropuerto La Nubia*

*\*anfrojaso@unal.edu.com*

### Resumen

Disminuir los gases de efecto invernadero y garantizar la disposición de energía para toda la humanidad, son metas que hacen parte de los objetivos de desarrollo sostenible planteados por las Naciones Unidas, con el propósito de contrarrestar los efectos del cambio climático. La sustitución de materia prima fósil por biomasa es primordial para lograr este objetivo. Sin embargo, los procesos de aprovechamiento que utilizan biomasa como materia prima no garantiza totalmente que estas alternativas sean más amigables ambientalmente, de modo que es necesario evaluar su impacto ambiental para cumplir con el objetivo de disminuir las emisiones. Este artículo se centra en la realización de un análisis de ciclo de vida comparativo de los procesos de combustión y pirólisis para el aprovechamiento energético de semillas de aguacate, teniendo en cuenta la energía consumida en cada proceso. Los datos de consumo energético se obtuvieron a través de la simulación en el *software* Apen Plus V8.8, mientras que el cálculo de los impactos ambientales para el análisis de ciclo de vida se realizó a través del *software* OpenLCA. En el análisis de ciclo de vida se implementó el método de evaluación de impacto ReCiPe, obteniendo valores para 18 categorías de impacto ambiental. En una de estas categorías denominada cambio climático, se encontró que la cantidad de CO<sub>2</sub>-eq producida en el proceso de combustión de las semillas de aguacate es

aproximadamente 62 % más alta respecto a la cantidad de CO<sub>2</sub>-eq generado en la pirólisis de estas semillas. Por tanto, el proceso de combustión produce una mayor liberación de gases de efecto invernadero, traducido en mayores impactos ambientales, debido a la conversión completa del carbono en CO<sub>2</sub> durante el proceso de combustión. Estos impactos se pueden compensar, en gran medida, si se implementa un adecuado aprovechamiento de la energía producida en el proceso. Mientras que en la pirólisis, una parte significativa del carbono se encuentra en el biocarbón y/o bioaceites producidos en este proceso. Para estos productos de la pirólisis se debe establecer un uso adecuado para que el proceso sea ambientalmente sostenible.

*Palabras clave:* semilla de aguacate, pirólisis, combustión, impacto ambiental.

## Mercurio en suelos bajo influencia de la minería aurífera en el departamento de Bolívar, Colombia

*Juan David Llano Vásquez<sup>1\*</sup>, José Luis Marrugo Negrete<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Córdoba

<sup>2</sup>Grupo de Aguas, Química Aplicada y Ambiental, Departamento de Química, Universidad de Córdoba, carrera 6 # 77-305, Montería, Córdoba

\*jllanovasquez@gmail.com

### Resumen

La contaminación por mercurio es una de las mayores preocupaciones ambientales en la actualidad. Informes oficiales estiman que esta actividad emitió 100 Mg de Hg al ambiente para el año 2010. La minería informal en Colombia ocupa más del 60 % de las 41 zonas hidrográficas del país, esta minera genera impactos sobre el medio ambiente afectando los recursos de agua, aire, suelo y biodiversidad en las zonas intervenidas. En Colombia

aún no son suficientes los estudios realizados sobre contaminación por metales pesados, y se hace necesaria la realización de mediciones sistemáticas y continuas bajo estándares de calidad, sin embargo, se destacan estudios realizados por Martínez *et al.* (2017) en suelos agrícolas influenciados por minería, Rocha *et al.* (2018) en San Martín de Loba y Marrugo *et al.* (2019) en la región Mojana. Por tal motivo, se propuso determinar y evaluar el contenido total, biodisponible, pH, M.O.S., factor de enriquecimiento (FE) e índice de geoacumulación (Igeo) en suelos con influencia minera en el departamento de Bolívar. Los datos arrojaron la media para pH de  $5,19 \pm 1,18$ , catalogados como muy fuertemente ácido y la M.O.S.  $6,55 \% \pm 3,26 \%$  siendo alta según los valores propuestos por el IGAC. Para Hg-t la media fue de  $616,46 \pm 1,988,16 \mu\text{g kg}^{-1}$  con máximos y mínimos de  $11,228,41 \mu\text{g kg}^{-1}$  y  $5,72 \mu\text{g kg}^{-1}$ . Así mismo, el estudio evidenció que el 49,28 % de los suelos presenta niveles superiores a la referencia (VR), y el 2,9 % niveles superiores al valor máximo permisible (VMP). La media para la fracción biodisponible fue de  $0,79 \pm 0,85 \%$ . Para la evaluación del grado de enriquecimiento FE, el 13,05 % de los suelos presentan grados de enriquecimiento moderadamente severo a extremadamente severo, por último, el grado de contaminación a través del igeo, mostró que el 14,5 % de suelos presentan grados de moderado a fuertemente contaminado a extremadamente contaminado. Se puede concluir que la actividad minera ejerce una gran presión sobre los suelos influenciados por la minería aurífera en el departamento de Bolívar, evidenciando altos contenidos de Hg-t no solo en suelos donde se realiza la actividad extractiva, sino en suelos cercanos a estas explotaciones. Se recomienda realizar estudios de especiación, con el fin de mitigar riesgos mayores, así como el desarrollo de programas de acompañamiento, divulgación y capacitación sobre manejo ambiental, mejores prácticas mineras y la implementación de programas de reforestación y biorremediación.

*Palabras clave:* contaminación, mercurio, suelos, minería, biodisponibilidad.

## Determinación de agentes eutrofizadores en aguas y microplásticos en lodos del caño

*Sergio Terán Castro<sup>1</sup>, Karina Ojeda<sup>2</sup>, Juan Restrepo<sup>3</sup>,  
Ángel Villabona Ortíz<sup>2</sup>, Eduardo Sánchez<sup>2</sup>, Gezira  
de Ávila<sup>2</sup>, Candelaria Tejada Tovar<sup>2\*</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Diseño de Procesos y Aprovechamiento de Biomásas – IDAB, Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado, calle 30 # 48-152

<sup>2</sup>Grupo Biontessori, Colegio Montessori, Cartagena, calle 25 # 18-101

\*ctejadat@unicartagena.edu.co

### Resumen

La contaminación de fuentes hídricas por efecto de actividades antropogénicas es un problema que ocasiona el deterioro de los cuerpos de agua y los ecosistemas asociados a ellos. Las industrias del plástico generan anualmente entre 17 y 29 millones de TM de residuos mal gestionados, debido a su mala disposición, consumo masivo, rápida eliminación y falta de políticas sostenibles de reciclaje y reúso. Estos llegan a los cuerpos de agua por las escorrentías y malas prácticas antropogénicas, donde con el paso del tiempo se convierten en microplásticos debido a su resistencia a la degradación, convirtiéndose en fuente de alimento de animales acuáticos, representando un vector de contaminación para los cuerpos de agua.

La ciudad de Cartagena cuenta con un sistema de canales y lagos interiores, con una superficie de 100 hectáreas y una longitud aproximada de 9.5 km, que comunican a la Bahía de Cartagena y la Ciénaga de La Virgen. Entre ellos, el caño Juan Angola, ubicado en la zona norte de la ciudad, que conecta a la laguna del Cabrero con la Ciénaga de la Virgen, pasando por más de diez barrios en la zona de influencia. Este caño presenta una problemática ambiental asociada a la presencia de contaminantes por la sedimentación, ocasionada por el depósito incontrolado de desechos, la ocupación ilegal de

predios y la disposición de aguas servidas, aguas residuales domésticas y empresas de diferente índole.

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio es determinar la presencia de microplásticos en sedimentos y parámetros causantes de eutrofización (nitratos, nitritos, sulfatos y fosfatos) en aguas del caño Juan Angola. Para la determinación de los contaminantes eutrofizadores se tomaron muestras de agua en cuatro puntos referenciados del caño, se recolectaron muestras de 500 mL a 1 m de la costa y 30 cm de profundidad y se determinaron por UV-Vis, aplicando el método estándar: ASTM D 515-6, ASTM D 560 - 60 y ASTM D7781 - 14, para fosfato, sulfato, nitrito y nitrato, respectivamente. La cuantificación de los microplásticos en sedimentos se realizó de acuerdo con el método presentado por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA); las muestras se tomaron en dos puntos georeferenciados usando una draga tipo pala y se conservaron mediante refrigeración a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; posteriormente, las muestras fueron secadas en horno a  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se redujo su tamaño, se hizo análisis granulométrico para usar un tamaño de partículas  $<1\text{mm}$ , se tomó una muestra de 100 g, se agregaron 50 mL  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 33 % en 100 mL de agua destilada, se dejó en agitación por 24 h a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se secó en un horno a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , luego se realizó la separación con solución de NaCl saturada ( $1.8\text{ g/cm}^3$ ). Se encontró que el agua superficial del caño tiene altas concentraciones de sulfatos en todos los puntos muestreados, atribuido a los vertimientos de efluentes sin tratar con una gran carga de surfactantes; también se evidenció la presencia de microplásticos en las muestras de sedimentos recolectadas.

*Palabras clave:* diferencia de densidades, eutrofización, fosfatos, nitratos, sulfatos.

---

## Efecto del pH sobre la adsorción de azul de metileno usando adsorbentes preparados a partir de origen agroindustrial

*Sergio Terán Castro, Candelaria Tejada*

*Tovar\*, Ángel Villabona Ortiz*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Diseño de procesos y Aprovechamiento de Biomásas - IDAB, Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, avenida del Consulado, calle 30 # 48-152

\*ctejudat@unicartagena.edu.co

### Resumen

El azul de metileno ( $C_{16}H_{18}ClN_3S$ ) es un colorante catiónico usado ampliamente en indicadores químicos, tintes y tintes biológicos. Por lo anterior, se genera una gran cantidad de aguas residuales de tintes orgánicos que se produce en los procesos de las industrias de impresión y teñido. Las aguas residuales de tinte tienen características como gran descarga, alta cromaticidad, alta concentración de materia orgánica y escasa biodegradabilidad, y afectan en gran medida la salud del cuerpo de agua y la fotosíntesis de microorganismos en el medio acuático. Debido a esto, se han utilizado diferentes métodos para tratar las aguas residuales contaminadas con colorantes. Los métodos de tratamiento típicos incluyen métodos físicos, químicos y biológicos, como floculación, filtración por membrana, oxidación avanzada, ozonización, degradación fotocatalítica y biodegradación. Se considera que el método de adsorción prevalece sobre otras tecnologías de tratamiento de aguas residuales con colorantes debido a sus ventajas como alta eficiencia, bajo costo, operación simple e insensible a sustancias tóxicas.

En este sentido, al implementar la tecnología de adsorción en la remoción de contaminantes, existen diversos factores que afectan la eficiencia del proceso, tales como la carga de adsorbente, concentración inicial, pH, tiempo de contacto y

agitación. El pH es una variable importante en los procesos de remoción, puesto que determina la naturaleza de las interacciones electrostáticas adsorbato-adsorbente, teniendo en cuenta que carga neta superficial de los sitios activos de adsorción. Así, en este trabajo, se investigó el efecto del pH sobre la capacidad y eficiencia de adsorción del colorante azul de metileno usando tres carbones activados preparados a partir de cascarilla de trigo modificados. Se usó carbón sin modificar y modificado con KOH y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. El pH se varió en 3 niveles: 7, 8, 9. Los resultados experimentales de adsorción se compararon con los presentados por un carbón comercial. Este trabajo mostró que el rendimiento de adsorción del tinte catiónico por carbón activado sin modificar y modificado con KOH y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, se vio favorecida por el aumento del pH en todos los casos, siendo el carbón modificado con KOH el que presentó mejor desempeño con porcentajes de remoción >90 % en todos los casos; lo anterior debido a que el aumento del pH supone un incremento en la presencia de grupos OH en la superficie de los bioadsorbente, lo cual propicia las interacciones electrostáticas entre las especies del colorante y el adsorbente. Los resultados mostraron que la cascarilla de trigo es un buen precursor para la generación de bioadsorbentes para su uso en la remoción de azul de metileno en solución.

*Palabras clave:* adsorción, azul de metileno, carbón activado, modificación.

---

## Preparación y caracterización de adsorbentes modificados químicamente para su uso en tratamiento de aguas

*Sergio Terán Castro, Candelaria Tejada*

*Tovar\*, Ángel Villabona Ortiz*

Grupo de Investigación en Diseño de Procesos y Aprovechamiento de Biomásas - IDAB, Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, avenida del Consulado, calle 30 # 48-152

\*ctejadat@unicartagena.edu.co

### Resumen

La presencia de contaminantes en los cuerpos de agua producto de las actividades antrópicas es una prioridad para la comunidad científica. Por lo anterior, la búsqueda de tecnologías económicas y eficientes es un tópico de estudio. Entre los diversos métodos implementados para el tratamiento de efluentes contaminados, la bioadsorción se presenta como una alternativa atractiva debido a la alta disponibilidad de materiales que se consideran residuos y pueden ser valorizados. En este sentido, el desarrollo de adsorbentes mejorados con áreas superficiales aumentadas, altas capacidades de adsorción, selectividad por los contaminantes, gran presencia de grupos funcionales superficiales y propiedades electroquímicas, es un campo amplio de estudio, con el fin de incrementar su afinidad por los contaminantes objetivo y mejorar el efecto de eliminación de contaminantes en diferentes tipos de aguas residuales industriales.

Para evaluar las propiedades fisicoquímicas y adsorptivas de los bioadsorbentes, se realizan caracterizaciones para establecer los grupos funcionales, estructura superficial, composición elemental, punto  $\text{pH}_{\text{PZC}}$ , isoelectrico y la cuantificación de la cantidad de grupos funcionales superficiales. Así, el objetivo de la presente investigación fue preparar y caracterizar bioadsorbentes a partir de residuos de trigo, bagazo de caña, aserrín de roble y teca. Los bioadsorbentes

sintetizados se caracterizaron mediante análisis FTIR, SEM-EDS y titulación de Boëhm, para identificar su composición química, los grupos funcionales participantes en la adsorción y el pH al cual el adsorbente tiene una carga neta neutra. Para esto, las biomásas se lavaron por separado, secaron a 70 °C, se redujeron de tamaño usando un molino de cuchilla y se clasificaron de tamaño en una tamizadora tipo *Shaker* para obtener 2, 1, 0.5 y 0.355 mm del material seco. A partir de las biomásas listas se prepararon carbones activados con  $H_2SO_4$ , KOH y urea. La carbonización se realizó variando la temperatura con rampa de 10 °C/min, hasta llegar a una de 850 °C durante 30 minutos. El carbón se enfrió, luego fue lavado hasta tener un valor de pH 7 y se secó en un horno a 105 °C. Se obtuvo bioadsorbentes tipo carbón, los cuales se usaron en la remoción de azul de metileno en ensayos de adsorción en sistema por lotes.

*Palabras clave:* adsorción, aserrín de roble, aserrín de teca, bagazo de caña, biocarbones, cascarilla de trigo.

---

## Metodología para la preparación de biocompuestos a partir de fibras vegetales modificados con polímeros biodegradables

Nórida Pájaro Gómez<sup>1\*</sup>, Rodrigo Ortega  
Toro<sup>2</sup>, Ángel Villabona Ortiz\*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Diseño de Procesos y Aprovechamiento de Biomásas - IDAB, Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, avenida del Consulado, calle 30 # 48-152

<sup>2</sup>Grupo de Investigación Food Packaging and Shelf Life - FP&SL, and Complex Fluids, Programa Ingeniería de Alimentos, Universidad de Cartagena, avenida del Consulado, calle 30 # 48-152

\*nipajarog@gmail.com

### Resumen

El crecimiento de la industria agrícola junto con el incremento poblacional, causa la generación de grandes volúmenes de residuos, ocasionando problemáticas ambientales debido a su mal manejo. Unas de las agroindustrias que más genera residuos es la de explotación de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), ya que produce cerca de  $5,4 \times 10^8$  ton/año debido a su cultivo intensivo para extraer azúcar y alcohol. De otra parte, el coco (*Cocos nucifera*) es una fruta ampliamente cosechada en climas tropicales, de la cual solo se aprovecha el 10 %; entre los residuos producidos durante su aprovechamiento se encuentra el mesocarpio, del cual solo se aprovecha el 15 % de la fibra de los aproximadamente 33 billones de frutos que se cosechan anualmente; esto implica que la cáscara sea acumulada como desecho y no aprovechada como residuo, sin tener en cuenta las propiedades que esta posee debido a su composición química, las cuales amplían la variedad de aplicaciones del fruto. De otra parte, durante el cultivo del plátano se generan cerca de 75 kilotoneladas de pseudotallo de plátano, dado que al cortar el racimo de plátano el resto de la planta se desecha. Una práctica muy común entre los campesinos y el sector agrícola es la quema de estos residuos; generando contaminación ambiental en el aire por presencia

de material particulado. Cuando no se emplea la práctica de la quema, generalmente se realiza una mala disposición de estos residuos generando otros vectores de contaminación. Teniendo en cuenta lo anterior, se ve necesario buscar alternativas para el aprovechamiento de estos materiales en otros campos, con el fin de solventar esta problemática.

Así, el objetivo del presente estudio es modificar la celulosa extraída del mesocarpio de coco y del bagazo de la caña de azúcar con polihidroxibutirato (PHB), bagazo de caña de azúcar y pseudotallo de plátano con ácido poliláctico (PLA), y fibra de fique con almidón termoplástico, con el fin de sintetizar biocompuestos para su uso en tratamiento de aguas. Para esto, las biomásas serán lavadas con agua desionizada, secadas en horno a 70 °C, reducidas de tamaño con un molino de cuchillas y clasificadas de tamaño en una tamizadora tipo *Shaker*. Posteriormente, se evaluarán los métodos alcalino y alcalino-ácido para la extracción de la celulosa, la cual se caracterizará mediante análisis termogravimétrico (TGA) y diferencial de calor (DSC), para establecer la pureza del material sintetizado. Posteriormente, se procederá a implementar la técnica de *casting* para la preparación del biocompuesto usando diferentes relaciones de la mezcla celulosa-PLA; para esto, el biopolímero será disuelto con un solvente (hexano), se le incorporará la celulosa extraída en una superficie plana y se solidificará en dos configuraciones diferentes: laminar y *pellets* por extrusión. Los biocompuestos sintetizados se caracterizan mediante análisis SEM-EDS, FTIR, BET y pruebas mecánicas. Se realizarán pruebas de adsorción con azul de metileno para evaluar su rendimiento como material adsorbente. Se espera obtener un biomaterial compuesto de bajo costo y con una alta capacidad de adsorción.

*Palabras clave:* adsorción, almidón termoplástico, biocompuestos, PHB, PLA.

## Estudio del equilibrio de la adsorción de cromo (VI) sobre aserrín de *Cedrela odorata*

Nórida Pájaro Gómez<sup>1</sup>, Ángel Villabona  
Ortiz<sup>1</sup>, Miguel Ángel Mueses<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Diseño de Procesos y Aprovechamiento de Biomásas - IDAB, Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, avenida del Consulado, calle 30 # 48-152

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Modelado y Aplicación de Procesos Avanzados de Oxidación - MAOS, Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, avenida del Consulado, calle 30 # 48 152

\*nipajarog@gmail.com

### Resumen

La contaminación de las fuentes hídricas por metales aumenta con el crecimiento industrial de las ciudades. Asimismo, el manejo inadecuado de los efluentes residuales industriales con presencia de metales pesados como mercurio, plomo, cadmio, níquel y cromo hace que los seres vivos estén expuestos al consumo de estos, puesto que integran la cadena trófica. La presencia del cromo en las fuentes hídricas es generada por los vertimientos industriales de los procesos de pigmentos, curtiembres, fabricación de tinturas textiles, cromado y conservantes. Asimismo, el ion más abundante de este metal es Cr(VI) el cual puede causar a los seres expuestos a su presencia por bioacumulación afecciones como cáncer de pulmón, en los senos paranasales y nasales, asma, daño renal, hepático y en los sistemas circulatorio y nervioso central; al ser altamente mutagénico y carcinógeno la U. S. EPA estableció una concentración máxima de 0.05 y 0.1 mg/L de Cr(VI) en aguas potables y superficiales, respectivamente.

Así, se hace necesario el tratamiento de los efluentes antes de su vertimiento. Por esto, se han utilizado técnicas fisicoquímicas como precipitación química, electrodiálisis, intercambio iónico, extracción electrolítica, osmosis inversa, y cementación; sin embargo, estas técnicas han resultado ser

costosas e ineficientes para remover metales pesados a bajas concentraciones. La adsorción, por otro lado, ha resultado ser una opción más económica y mejor para la expulsión de metales de soluciones acuosas, incluso si está presente en niveles traza. En este sentido, en el proceso de adsorción se han empleado materiales orgánicos e inorgánicos como adsorbentes en la remoción de Cr(VI).

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio es evaluar los modelos que mejor ajusten el equilibrio de remoción de Cr(VI) usando aserrín de cedro como adsorbente, teniendo en cuenta la convención de la IUPAC para describir las isothermas de adsorción. Para esto, la biomasa se somete a lavado, clasificación de tamaño en una tamizadora tipo *Shaker*, y se caracteriza mediante titulación de Boëhm,  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  y FTIR; luego, se evalúa el efecto del pH sobre el proceso. Los ensayos de adsorción se realizan siguiendo un diseño de experimentos factorial multinivel  $3^3$ , en donde se determina el efecto del tamaño de partícula (mm), carga de adsorbente (mg) y concentración inicial (mg/L) sobre la capacidad de adsorción del metal. Luego, se realiza la determinación del equilibrio de adsorción a diferentes dosis de adsorbente variando la concentración inicial desde 5 a 250 mg/L; posteriormente, se determinará de acuerdo con la convención IUPAC el tipo de isoterma que describe el proceso y los modelos que ajustan la isoterma encontrada. Una vez identificados los modelos, se realiza el ajuste no lineal en el *software* OriginPro® versión 2019b. Se espera determinar el modelo que mejor ajuste los datos experimentales, partiendo del tipo de isoterma y los modelos recomendados por la IUPAC.

*Palabras clave:* adsorción, cedro, isoterma, IUPAC.

---

## Evaluación del tiempo de depósito para $\text{TiO}_2$ Comercial y $\text{TiO}_2$ Aeroxide® P25 en fotoánodos para la degradación fotoelectrocatalítica de rojo reactivo 329

*Federico González\*, Daniel Borrás, Dora María Carmona, Lina Marcela Castañeda*

Grupo de Investigaciones Ambientales, Facultad de Ingeniería Química,  
Universidad Pontificia Bolivariana, circular 1A # 70-01

\*federico.gonzalez@upb.edu.co

### Resumen

El dióxido de titanio ha demostrado tener buenas propiedades como semiconductor en tecnologías de degradación de colorantes como la fotoelectrocatalisis, por sus propiedades fotónicas y estabilidad química. Por otro lado, en la fabricación de fotoánodos para fotoelectrocatalisis, la técnica de deposición tiene un papel importante debido a la influencia de esta en las características morfológicas de los recubrimientos, entre las técnicas de deposición se destaca la electroforesis (EPD). La EPD considera la aplicación de un campo eléctrico entre dos electrodos, con el fin de generar un movimiento de las partículas entre estos y, posteriormente, una acumulación de una capa densa de partículas sobre el electrodo de interés, convirtiendo a la EPD en una técnica sencilla para controlar las características morfológicas del recubrimiento. En este trabajo se evaluó la influencia del tiempo de aplicación de voltaje en la técnica de EPD sobre características físicas, morfológicas y la capacidad de decoloración de un colorante azoico como el rojo reactivo 239 (RR239), en recubrimientos de dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) Comercial y Aeroxide® P25.

Inicialmente, se hizo una caracterización cristalográfica y el cálculo de ancho de banda prohibida a los polvos de  $\text{TiO}_2$  mediante técnicas como la difracción de rayos-X (DRX) y la espectroscopia de reflectancia difusa. Luego, se elaboraron los recubrimientos por electroforesis empleando acero inoxidable

316 como soporte para las dos fases activas:  $\text{TiO}_2$  Comercial y  $\text{TiO}_2$  Aeroxide®P25. Se varió el tiempo de deposición (10, 20 y 30 s) para ambos fotocatalizadores, con un voltaje pulsado de 10 V (5 s aplicando voltaje y 2 s sin voltaje) siendo, por ejemplo, dos pulsos para el tiempo de depósito de 10 s, y un tratamiento térmico de 250 °C por 1 hora. Cada recubrimiento se realizó por triplicado para analizar los resultados estadísticamente y aumentar la confiabilidad en estos. A cada fotoánodo, constituido por el recubrimiento de fotocatalizador y el soporte de acero, se le hizo una caracterización morfológica mediante microscopía electrónica de barrido (SEM-EDS), se midió el espesor, la masa depositada, y el porcentaje de masa perdida después de un procedimiento de caída libre como indicativo de adherencia, además, se evaluó la decoloración fotoelectrocatalítica de una disolución de 2 mg/L de RR239.

Se encontró que aumentar el tiempo de depósito representa estadísticamente un aumento del porcentaje de decoloración para los recubrimientos de  $\text{TiO}_2$  Comercial, mientras que en los recubrimientos de  $\text{TiO}_2$  Aeroxide P25® no hubo diferencia estadísticamente significativa, logrando porcentajes de decoloración comparables con el  $\text{TiO}_2$  Comercial. En conclusión, se obtuvieron recubrimientos para el tiempo de 20 segundos (cuatro pulsos de 5 s), que presentan una buena morfología y adherencia, junto con buenos resultados en la decoloración de RR329 (alrededor de 60 %), comparables con los generados a mayor tiempo de depósito. Por último, en las condiciones de fabricación seleccionadas no se produjeron cambios significativos aparentes en las propiedades morfológicas de los fotoánodos, obteniéndose recubrimientos homogéneos, con una buena uniformidad para recubrimientos con Aeroxide®P25, en comparación con las películas del material Comercial.

*Palabras clave:* recubrimiento, deposición electroforética, dióxido de titanio, fotoánodos, fotoelectrocatalisis.

---

## Development Of Catalytic Processes For The Elimination Of Volatile Organic Compounds With Mn-Zeolites

*Lyzed Toloza Blanco<sup>1</sup>, Antonio Palomares Gimeno<sup>2</sup>, Joaquín Martínez Triguero<sup>3</sup>, Sandra Bautista Rodríguez<sup>4\*</sup>*

<sup>1</sup> Instituto de Tecnología Química, UPV-Universidad Central Grupo de Agus y desarrollo Sostenible, lyto@doctor.upv.es; <sup>2</sup> Instituto de Tecnología Química Universidad Politécnica de Valencia-CSIC, apalomar@iqn.upv.es; <sup>3</sup> Instituto de Tecnología Química, UPV-CSIC, jomarti@itq.upv.es; <sup>4</sup> Universidad Central Grupo de Agua y Desarrollo Sostenible  
\* sbautistar2@ucentral.edu.co.

### Abstract

Volatile Organic Compounds (VOCs) are one of the main air pollutants, being necessary the treatment of exhaust gases containing these molecules. Catalytic combustion is one of the most promising technologies since it transforms VOCs into harmless substances at low temperatures with consequent energy saving. The aim of this work is to study the use of Mn-containing zeolites as catalysts for the oxidation of organic volatile compounds using ethanol as probe molecule. The experiments have been made in a tubular quartz reactor coupled to a gas bubbling system in a thermostatic bath. A stream of air is passed through a bubbler containing pure ethanol at 10°C. This allows the stream to be saturated with ethanol achieving the desired concentration (1000 ppm) with a total flow of 15 cc/min. The catalytic tests were carried out varying the temperature between 150 and 400°C. The catalysts used were prepared by wet impregnation of a manganese salt over zeolites with different topology (BEA and MFI) and different SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ratio (25 and 1000), then the catalyst was calcinated to 550°C. In a typical reaction 0.1 gr of a Mn-zeolite were used and the reaction products were analyzed with a Varian 3600 gas chromatograph. The thermal oxidation needs at least 550°C for the complete combustion of ethanol producing some secondary species like CO, acetaldehyde

and ethylene. In comparison the use of Mn-zeolites allows the use of lower temperatures. In particular, Mn-BEA ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=25$ ) zeolite gets 92% of ethanol conversion at 260°C, although some selectivity to acetaldehyde is observed. Mn-ZSM5 with a similar  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  ratio gets 80% conversion at this temperature with some selectivity to ethylene. The best results have been obtained with the Mn-FAU with a  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 1000$ , this is an almost pure silica zeolite, that gets also 80% conversion at 260°C but with a complete conversion to the desired products ( $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2\text{O}$ ). These results have shown that Mn enhances oxidation process with a catalytic activity comparable to that obtained with noble metals. Nevertheless, these results also show that  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  ratio of the zeolites influences the catalyst selectivity obtaining the best results with high Si/Al ratio zeolite that present lower number of acid sites. It seems that the presence of acid sites in zeolite catalyze the ethanol dehydrogenation avoiding ethanol oxidation.

*Keywords:* Volatile organic compounds, ethanol, heterogeneous catalysis, zeolite, catalytic combustion.

---

## Degradación fotocatalítica de esporas del hongo fitopatógeno *Fusarium oxysporum f.sp. dianthi* con películas de TiO<sub>2</sub>-ZnO utilizando luz visible

Angie Lorena Hormiga Hernández<sup>1\*</sup>, César Augusto

Quiñones Segura<sup>2</sup>, Martha Lucía Posada Buitrago<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Ceparium, Programa de Maestría en Microbiología, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, calle 28 # 5B-02, Bogotá, Colombia

<sup>2</sup>Grupo de investigación CiTIC, Programa de Matemáticas, Universidad Politécnico Gran Colombiano, calle 57 # 3-00 este, Bogotá, Colombia

\*ahormiga@unicolmayor.edu.co

### Resumen

Colombia es el segundo productor de flores en el mundo, con una participación del 16 % en el mercado mundial, en donde el clavel representa aproximadamente el 11.6 % en la producción nacional. Una de las principales enfermedades que afectan al clavel es el marchitamiento vascular y la pudrición de raíz ocasionada por el hongo fitopatógeno *Fusarium oxysporum f.sp. dianthi*, reduciendo significativamente el rendimiento de la producción. Para minimizar los daños causados por *Fusarium oxysporum f.sp. dianthi* se utilizan métodos convencionales, como productos agroquímicos y químicos, los cuales son de alto costo, deterioran el medio ambiente y la salud del personal encargado de su manipulación. Debido a esto, es necesario buscar un método alternativo para la disminución de contaminantes que sea químicamente inerte, mecánicamente estable y de alta durabilidad, por lo cual, la fotocatalisis heterogénea es una alternativa ambientalmente segura y de bajo costo, y puede ser utilizada en el tratamiento de fitopatógenos generando daños oxidativos en su pared celular.

La fotocatalisis heterogénea es ampliamente utilizada en diferentes procesos de eliminación de contaminantes orgánicos presentes en medio acuoso y gaseoso. Estudios previos han demostrado la capacidad de este método para eliminar o

inactivar microorganismos patógenos, entre los cuales se resaltan trabajos sobre patógenos de interés clínico como *Bacillus sp.*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Vibrio cholerae*, *Corynebacterium sp* y *Salmonella sp.*, los cuales al ser expuestos durante la noche a 37 °C al fotocatalizador (ZnO), presentaron daño en su pared celular y migración de sus componentes celulares, generando así muerte celular. Se ha observado que al usar TiO<sub>2</sub> en concreto y radiación artificial generó una desinfección de hongos como *Alternaria sp.*, *Cladosporium cladosporioides*, *Epicoccum nigrum*, *Fusarium sp.*, *Mucor sp.*, *Penicillium oxalicum*, *Pestalotiopsis maculans* y *Trichoderma asperellum*, evidenciando un daño estructural en la pared de los hongos perdiendo así su viabilidad y la capacidad de colonizar el concreto.

El objetivo de este estudio fue evaluar la actividad fotocatalítica de las películas de TiO<sub>2</sub>-ZnO en la degradación del *Fusarium oxysporum f.sp. dianthi* utilizando luz visible.

La reducción de la concentración de esporas de *Fusarium oxysporum f.sp. dianthi* utilizando luz visible con las películas de TiO<sub>2</sub>/ZnO fue del 92.33 % luego de 250 minutos de exposición, la suspensión de esporas tratada fue cultivada durante 5 días a 25 °C y no presentó crecimiento, a diferencia del control negativo, el cual mostró un crecimiento abundante en un tratamiento de las esporas bajo las mismas condiciones.

El tratamiento aplicado a las esporas de *Fusarium oxysporum f.sp. dianthi* utilizando películas de TiO<sub>2</sub>/ZnO y radiación en la región visible del espectro fue eficaz para causar la pérdida de la integridad celular, por lo tanto, se esperaría que al aplicarlo a gran escala en las aguas de riego de los invernaderos de cultivo del clavel se controlaría la concentración de fitopatógenos en ella.

*Palabras clave:* fotocatalisis heterogénea, *Fusarium oxysporum f.sp. dianthi*, TiO<sub>2</sub>/ZnO.

---

## Estudio de gases de efecto invernadero (GEI) asociados al procesamiento de frutas y verduras

*Luz Adriana Castillo Cifuentes<sup>1\*</sup>, Jeffrey León Pulido, Edna Lizeth Pulido Arias, Alexander García Pérez, Darío Eduardo Becerra Navas\**

Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Ean, Bogotá, Colombia

\*lcastil93707@universidadean.edu.co

### Resumen

La agricultura e industria son los sectores que generan gases de efecto invernadero en mayor proporción en el mundo con respecto a otros sectores económicos. Colombia es un país agropecuario, por lo que su economía está basada en la producción y explotación de este sector. Este país se caracteriza por su gran variedad de productos y materias primas agrícolas, como las frutas y verduras que gracias a la gran diversidad de zonas topográficas y de zonas climáticas se puede producir todo el año. Además de ello, el sector industrial colombiano procesa esta materia prima para obtener productos como frutas deshidratadas, conservas, mermeladas, néctares, entre otras. Debido a los esfuerzos por mitigar y reducir las emisiones de GEI en este sector y en el país, el objetivo de esta investigación es identificar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el proceso de obtención de frutas y verduras, y su posterior procesamiento en productos industrializados, estableciendo los aspectos técnicos y logísticos de una planta de procesos en Colombia, esto a través del establecimiento de una metodología que permita estimar la huella de carbono. La metodología consiste en la integración de la normativa NTC – ISO 14064-1:2020 y el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero. Para ello, primero se deben definir las actividades que realizan la planta o empresa, su ubicación y las sedes en las que opera la organización. El segundo paso es determinar

los límites operacionales, que consta en identificar las fuentes de emisión correspondientes a las diferentes actividades realizadas y categorizándolos de acuerdo con el tipo de emisión directa o indirecta y su alcance. Las actividades de obtención, procesamiento y distribución de frutas y verduras se pueden llevar a cabo en: los cultivos (por ejemplo, la aplicación de fertilizantes y pesticidas produce  $N_2O$ ), en el transporte de las fincas a procesadoras, en las zonas industriales del procesamiento (por ejemplo, el uso de electricidad, el consumo de agua, etcétera) y finalmente, en el transporte de comercialización y distribución. El siguiente paso es cuantificar los gases de efecto invernadero de acuerdo con el año base, y teniendo en cuenta los factores de emisión correspondientes a cada fuente, para finalizar se elabora un informe del inventario de GEI con los cálculos y resultados obtenidos.

*Palabras clave:* gases de efecto invernadero, frutas, hortalizas, metodología procesamiento.

---

# IX

## Inclusión, género y educación en la ingeniería

La inclusión es un tema clave en la educación, especialmente en la ingeniería, donde históricamente ha habido una falta de diversidad en términos de género y origen étnico. Es importante crear modelos inclusivos que sean accesibles para todos los estudiantes, independientemente de sus antecedentes, habilidades o capacidades. Esto implica tener en cuenta las necesidades individuales de cada estudiante y proporcionar recursos y apoyo adecuados para que puedan tener éxito en su educación. En particular, es importante fomentar la inclusión de mujeres en la ingeniería y otras carreras STEM. A pesar de los avances en la igualdad de género en muchos campos, las mujeres aún están subrepresentadas en la ingeniería y otras disciplinas técnicas. Es importante trabajar para dismantlar las barreras que impiden que las mujeres ingresen y progresen en estas carreras, incluidos los estereotipos de género, la falta de modelos a seguir femeninos y los prejuicios implícitos en los sistemas de selección y promoción. Es necesario reconocer los logros y contribuciones de las mujeres en la ingeniería y en las ciencias en general, y trabajar para aumentar su visibilidad y presencia

en estos campos. Esto puede incluir la promoción de roles y figuras femeninas en la ingeniería a través de la educación y los medios de comunicación, así como la creación de redes y oportunidades de mentoría para mujeres en estas carreras. Además, es importante destacar la importancia de la educación práctica en la ingeniería, que permite a los estudiantes aplicar sus conocimientos y habilidades en un contexto real. Esto puede incluir pasantías, prácticas profesionales y proyectos de investigación colaborativos con empresas y organizaciones del sector público. Estas experiencias prácticas pueden ser especialmente valiosas para estudiantes de grupos subrepresentados, ya que les permiten establecer conexiones y relaciones en el campo y adquirir experiencia laboral relevante. Con lo anterior, fomentar la inclusión y la diversidad en la educación es esencial para crear una sociedad más equitativa y sostenible. En la ingeniería, es importante trabajar para aumentar la presencia de mujeres y otros grupos subrepresentados, y crear modelos educativos inclusivos que permitan a todos los estudiantes tener éxito en sus carreras. La educación práctica también es un aspecto clave de la educación en ingeniería, ya que permite a los estudiantes aplicar sus habilidades y conocimientos en situaciones reales y desarrollar conexiones y relaciones valiosas en el campo.

## Desarrollo de un simulador de control automático de procesos como herramienta de apoyo en espacios virtuales de enseñanza-aprendizaje

*Juan David Tabares Hurtado, Jaison Daniel*

*Arroyo León, Juliana Puello Méndez\**

*Grupo de Investigación en Ciencias de la Ingeniería - GICI, Programa de Ingeniería Química, Universidad de San Buenaventura Cartagena, diagonal 32 # 30-966, Cartagena de Indias, Bolívar, Colombia*  
*\*jpuello@usbctg.edu.co*

### Resumen

La situación causada por la pandemia asociada al virus SARS-CoV-2, ha llevado a las universidades a promover el uso y desarrollo de herramientas que contribuyan al proceso de enseñanza-aprendizaje en entornos virtuales, con la finalidad de que los estudiantes afiancen sus conocimientos mediante actividades que permitan reducir la brecha entre la teoría y la práctica, debido a que el acceso a espacios físicos se ha visto restringido, para disminuir el riesgo de contagio del virus. Entre los propósitos de los espacios de práctica de simulación y control de procesos se busca que los estudiantes se familiaricen con la aplicación de tecnología, métodos, control y monitoreo de procesos industriales para así identificar posibles problemas y plantear soluciones, gracias al seguimiento continuo de variables críticas y minimización de errores humanos.

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de este trabajo consistió en desarrollar una solución informática para apoyar el proceso de formación integral de los estudiantes en torno al control automático de procesos.

Para el desarrollo de este simulador de control automático de procesos, se hizo un estudio sistemático sobre teorías de control automático y de los métodos de sintonización de lazos en un entorno de programación de una hoja de cálculo. Esta herramienta ilustra al estudiante desde el control manual y

le permite comparar aspectos de desempeño en controladores proporcionales, proporcionales-integrales y proporcional-integral-derivativos, con base en la convergencia, el error y la estabilidad en ejemplos típicos, tales como un tanque drenado por gravedad, un reactor CSTR con refrigeración y un tambor de separación *flash*. Según el sistema ilustrado (tanque, reactor CSTR, tambor de separación *flash*), se presentan recomendaciones para trabajos futuros, como por ejemplo implementar más lazos de control y permitir cambios en parámetros de proceso con el fin de que los usuarios tengan mayor interacción con la interfaz.

*Palabras clave:* control de procesos, herramienta didáctica, educación en ingeniería química.

---

## Internacionalización en el currículo de Ingeniería Química y Biotecnología, a partir del aprendizaje basado en proyectos (ABP)

*Jeffrey León Pulido<sup>1\*</sup>, Irma Salgado Escobar<sup>2</sup>, Víctor Robledo Rella<sup>3</sup>, Sara Marcela Vera Aguirre<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería Química, Universidad Ean, Ean Legacy: carrera 11 # 78-47

<sup>2</sup>Internacionalización y Relaciones Institucionales, Universidad Ean, Ean Legacy: carrera 11 # 78-47

<sup>3</sup>Tecnológico de Monterrey, Ingeniería y Arquitectura: Campus Ciudad de México

\*jleonpulido@universidadean.edu.co

### Resumen

La colaboración internacional ha generado nuevos espacios para la consolidación de la formación en instituciones académicas. Metodologías como la *Global Classroom COIL*, entre otras, permiten vivir una experiencia de colaboración internacional y multicultural a través de herramientas virtuales. El aprendizaje basado en proyectos (ABP) fue utilizado como

pieza fundamental en la construcción de una colaboración internacional que integra conceptos técnicos. La interacción de los alumnos fue soportada por medio de dos cursos sincrónicos de la carrera de Ingeniería en Biotecnología del Tecnológico de Monterrey (México), con alumnos de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Ean (Colombia) en los cursos de Química Analítica y Diseño de Productos y Procesos. El ABP consistió en determinar el calor de reacción de la descomposición del peróxido de hidrógeno por medio de una enzima contenida en aguacate, sin madurar y maduro. La experiencia de internacionalización utilizó tres instrumentos de evaluación: reporte, presentación y una encuesta anónima. Finalmente, los resultados descritos en dicha encuesta representan el aprendizaje descrito por los estudiantes, la forma como consideran fueron adquiridas las competencias transversales, el aprendizaje de nuevo conocimiento, la aplicación de conocimientos en ingeniería y el trabajo multicultural, un estudio detallado de la percepción muestra que la metodología permite afianzar los conceptos en ingeniería y el desarrollo de habilidades blandas.

*Palabras clave:* ingeniería química, ingeniería en biotecnología, aprendizaje basado en proyectos, internacionalización.

---

## IQUYCA 2.0

El objetivo principal de este evento es trabajar en la brecha encontrada entre la educación formal, las necesidades del país, las competencias requeridas por el entorno actual, las necesidades de la industria y la sociedad, acercando a la Ingeniería Química a escenarios de reconocimiento y participación en Innovación.

IQUYCA está inspirado en el vocablo muisca de origen amerindio, dando la importancia y majestuosidad al mundo como fuente principal de materias primas; desde donde se origina la primera etapa de una larga cadena que soporta la transformación de estas, a productos semi o elaborados que aporten a la sociedad.

### Mito Salto del Tequendama

Según Piedrahíta, por intervención de las malas artes de Huythaca, el río Funzha (río Bogotá) inundó la Sabana de Bogotá, lo que obligó a sus habitantes a buscar refugio en las montañas, donde estuvieron hasta que llegó Bochica, quien con su bordón tocó la sierra, abriendo así el camino a las aguas.

La dinámica consiste en la postulación del prototipo, la cual, desencadena la etapa Ieta (vientre – lugar donde se gesta la vida) para la valoración y verificación del prototipo por parte de la organización. Consecuentemente, los que cumplan con la verificación entran en la etapa Mohan (ser mítico que cuida

tesoros), en donde los prototipos y productos son expuestos ante los expertos para su valoración. Posteriormente, entra a la etapa Jurgunero (palo para atizar la candela), los prototipos son presentados en público ante el panel de expertos y la comunidad en general.

Finalmente, posterior a la presentación de los prototipos y/o productos experimentan una votación por parte de los participantes al IQUYCA, en donde, de acuerdo con la perspectiva, votarán por el prototipo o producto que a su criterio aporte una solución innovadora diferenciada, esta etapa es llamada Ata (número uno).

Solo aquellos prototipos con la mayor cantidad de votos tendrán un espacio para divulgar toda su historia en las redes asociadas al evento. A lo largo del proceso, se solicitará a los emprendedores información complementaria, esta debe ser entregada en un plazo máximo de 24 horas a partir de la solicitud.

La propuesta de valor alrededor del evento es presentada en el gráfico a continuación:

## REQUISITOS



" UN ESPACIO  
DONDE *tus ideas*  
SE CONECTAN CON  
LAS NECESIDADES  
DEL *mundo* "



*Experimentar innovación:* acerca a los participantes a la formalización del proceso completo de innovación, describiendo desde la concepción de la idea hasta la realización de un prototipo.

*Introducción a nuevas tecnologías:* durante el evento podrán acceder a referentes, expertos y empresas, lo que les permitirá interactuar con estas.

*Conocer a referentes:* IQUYCA convoca a referentes de la temática, tecnólogos y figuras públicas. Los participantes tendrán la posibilidad de interactuar con dichos referentes y recibir su concepto en primera persona.

*Networking:* son convocados participantes de distintas universidades, empresas y entornos.

*Lanzar un prototipo:* si bien el fin último no es que los participantes desarrollen emprendimientos, es muy probable que las ideas y los equipos que se formen tengan intenciones de continuar con otros proyectos. El foco es lanzar el prototipo o producto para que pueda ser apalancado.

*Premiación y reconocimiento:* si bien no se otorgará un premio económico, no se puede ignorar que el ganador contará con premios de los patrocinadores. Adicional a la posibilidad de lanzar su prototipo o producto, recibir el reconocimiento de los aliados y la comunidad de ingeniería química, estímulos por parte de los patrocinadores, el acceso a los referentes, expertos y mentores.

La versión contó con los siguientes reconocimientos:

- *Ganador ATA (primer lugar):* Laura Daniela Silva Arias, emprendimiento: Botánica artesanal.
- *Segundo lugar:* Lorena Flórez, emprendimiento: Tres gracias.
- *Tercer lugar:* Helena Sofía Cruz Lozano, José Mario Palomino Díaz, emprendimiento: Antibacterial a partir de almidón de yuca (YuHands).
- *Cuarto lugar:* Aníbal Díaz Delgado, emprendimiento: Mascarina hidrosoluble volcánico.

## CONCLUSIONES

En un mundo impulsado por la tecnología y la innovación, la ingeniería química se destaca como un pilar fundamental que abarca una amplia gama de campos y desafíos cruciales para la sociedad actual. A lo largo de esta exploración, hemos vislumbrado cómo las diferentes áreas de conocimiento desencadenan descubrimientos que transforman nuestra capacidad para abordar problemas.

Con el avance de la tecnología y la creciente preocupación por el medio ambiente, la ingeniería química se encuentra en constante evolución, y se espera que siga siendo una herramienta esencial para abordar los desafíos del futuro. En el ámbito de la alimentación, la bioingeniería, la farmacéutica y la cosmética, hemos asistido a la convergencia de los profesionales, la ciencia y la tecnología en general, para consolidar productos que abren puertas a nuevas soluciones y bienestar. La simulación de procesos y el diseño asistido por computadora han demostrado ser herramientas cruciales para acelerar el desarrollo y la optimización de productos y procesos, permitiendo un enfoque más preciso y rentable.

La industria de Oil&Gas, minería y energías alternativas, demuestran desafíos y soluciones integrales para la atención de necesidades y la colaboración global. La inclusión, el género y la educación en la ingeniería son aspectos fundamentales para garantizar que todos los individuos tengan la oportunidad de contribuir a la construcción de un futuro tecnológico más equitativo y diverso.

El diseño de procesos más eficientes y sostenibles para la producción de alimentos puede contribuir a una mayor disponibilidad de alimentos nutritivos y a precios más accesibles, siendo todos estos fundamentos para la generación de nuevos emprendimientos.

Finalmente, es evidente la interconexión de la tecnología y la sociedad. A medida que avanzamos hacia una revolución de la inteligencia artificial y de exploración de alternativas

que sean soportadas desde la responsabilidad y el buen uso de las máquinas.

## Agradecimientos

A todos los conferencistas del XXXI Congreso Colombiano de Ingeniería Química, las empresas auspiciantes, las instituciones educativas, el Consejo Profesional de Ingeniería Química y, en especial, a todos los ingenieros químicos del mundo.

