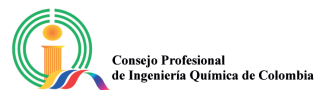


LIBRO DE RESÚMENES

# Nuevo Panorama de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación



LIBRO DE RESÚMENES

# Nuevo Panorama de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación



Catalogación en la fuente: Biblioteca Universidad EAN

Martinez Costa, Brandon Smith

Nuevo panorama de la ciencia, la tecnología y la innovación / Brandon Smith Martinez Costa ...[y otros seiscientos cincuenta y dos].

Descripción: 1a edición / Bogotá: Universidad Ean, 2020

344 páginas.

ISBNe 9789587566536

- |                                    |                                       |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Ingeniería química -- Resúmenes | 2. Energías alternativas -- Resúmenes |
| 3. Economía circular -- Resúmenes  | 4. Innovación -- Resúmenes            |
| 5. Emprendimiento -- Resúmenes     | 6. Ciencia y tecnología -- Resúmenes  |

660 CDD23

#### Edición

Gerencia de Investigación y  
Transferencia

#### Gerente de Investigación y Transferencia

Leonardo Rodríguez Urrego

#### Coordinadora de Publicaciones

Laura Cediél Fresneda

#### Diseño y diagramación

Mónica Cabiativa Daza

#### Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena

Angel Darío Gonzalez Delgado

#### Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena

Kariana Andrea Moreno Sader

#### Programa de Ingeniería Química, Universidad EAN

Jeffrey León Pulido

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

Jairo Ernesto Perilla

Todos los derechos reservados.

ISBNe 978-958-756-653-6

© Universidad EAN, El Nogal: Cl. 79 No. 11 - 45. Bogotá D.C., Colombia, Suramérica, 2019 Prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin autorización de la Universidad EAN®

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

Producido en Colombia.

# Contenido

<b>CAPÍTULO I:</b> Bioprocesos	7
<b>CAPÍTULO II:</b> Economía circular	90
<b>CAPÍTULO III:</b> Educación en Ingeniería Química	106
<b>CAPÍTULO IV:</b> Emprendimiento e innovación en ingeniería química	112
<b>CAPÍTULO V:</b> Energías alternativas	121
<b>CAPÍTULO VI:</b> Oil & gas	139
<b>CAPÍTULO VII:</b> Procesos y ciencia	160
<b>CAPÍTULO VIII:</b> Tecnología en ingeniería química y simulación	180
<b>CAPÍTULO IX:</b> Tópicos ambientales	226
<b>CAPÍTULO X:</b> Materiales	279
<b>Análisis de nuevas tendencias de ingeniería química en investigación</b>	<b>338</b>

<b>Iniciativas de emprendimiento desde la ingeniería química</b>	<b>339</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>340</b>

## Introducción

La Ingeniería Química Colombiana está inmersa en nuevos panoramas de Ciencia, Tecnología e Innovación que traen consigo grandes retos para la industria, la academia y el Estado. Las investigaciones multidisciplinarias en energía, materiales, ingeniería de procesos y bioprocesos han llevado a estrategias de emprendimiento e innovación que prometen ser base de desarrollo en el país. Las estrategias de valorización de biomásas bajo el concepto de economía circular son tendencia dentro del sector agroindustrial con residuos como el bagazo de caña de azúcar, mucílago de café, cáscara de ñame y fibrillas de palma de aceite. De estos procesos de transformación se obtienen un amplio rango de productos aplicados a energías más limpias, reducción de la contaminación ambiental y empaquetamiento de alimentos. Las simulaciones de sistemas de proceso y a nivel molecular recibieron especial interés para evaluar la sostenibilidad de enfoques convencionales y emergentes de destilación, fermentación, bio-refinación y fabricación de dispositivos de transición energética. Las nuevas tendencias digitales en la educación en Ingeniería Química a raíz de la pandemia se presentaron con casos de éxito en plataformas con contenido virtual y Modelo *Global Classroom*.

Este libro compila 236 resúmenes de investigaciones clasificadas en las siguientes líneas temáticas:

1. Bioprocesos
2. Economía circular
3. Educación en Ingeniería Química
4. Emprendimiento e innovación en Ingeniería Química
5. Energías alternativas
6. Oil & Gas

7. Procesos y ciencia
8. Tecnología en Ingeniería Química y simulación
9. Tópicos ambientales
10. Materiales

En los siguientes capítulos se presentan los resultados más relevantes de las investigaciones realizadas por 19 instituciones colombianas en cooperación con 7 universidades internacionales, así como las contribuciones científicas de numerosas empresas colombianas.

## CAPÍTULO I: Bioprocesos

---

*Líder de línea temática:*

**Janet Bibiana García Martínez**

Universidad Francisco de Paula Santander

Los avances en Ciencia, Tecnología e Innovación desde la Ingeniería Química mostraron una marcada tendencia al uso de procesos biotecnológicos en industrias de fermentaciones, agricultura y alimentación, energía y farmacéutica. La complejidad de los sistemas de reacción en presencia de organismos vivos mostró ser uno de los principales desafíos para el diseño de enfoques optimizados con potencial de escalamiento. Las investigaciones clasificadas en este primer capítulo abordaron procesos de transformación biológicos para obtener hidromiel, cervezas con características prebióticas, biomasas de microalga y ficocianinas, así como una gama de productos a base de semillas, frutas y verduras. Las tecnologías utilizadas en estos sistemas incluyeron fermentación láctica y alcohólica, hidrólisis enzimática, digestión anaeróbica y fotofermentación.

## Optimización de la hidrólisis enzimática de la fracción sólida del mucílago de café

*Natalia Valencia Castillo\*, Yoly Mileidy Veléz Duran\*,*

*Javier Jurado Rosero, Luz Marina Flórez Pardo*

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Occidente (UAO),  
Santiago de Cali, Colombia.

\*Autor de correspondencia:

natalia.valencia\_cas@uao.edu.co; yoly.velez@uao.edu.co

### Resumen

Dentro de la caracterización fisicoquímica del mucílago de café, se evidenció que aproximadamente el 50% de la fibra del residuo está compuesta por celulosa y hemicelulosa; fracciones que pueden ser hidrolizadas enzimáticamente para generar más contenido de azúcares fermentables. Para ello se realizó un diseño factorial y un rotacional central compuesto, con el fin de encontrar las actividades enzimáticas y las dosis que incrementarán el contenido de azúcares fermentables en la biomasa. Su análisis se llevó a cabo, mediante el análisis estadístico ANOVA en el software Statgraphics. De acuerdo, con el porcentaje de sacarificación a la hora 23 se produjo una mayor concentración de azúcares reductores en el hidrolizado. En el proceso de hidrólisis la enzima con mayor significancia fue la celulasa. Se destaca que todo se realizó a escala de laboratorio, con miras a que pueda ser poco a poco escalado en la planta piloto de producción de bioetanol de la Fundación Entorno en Caicedonia Valle del Cauca.

**Palabras Clave:** mucílago, celulosa, hemicelulosa, azúcares fermentables, hidrólisis enzimática, sacarificación, bioetanol.

## Evaluación del aprovechamiento y reutilización de agua residual de piscicultura mediante biorremediación con microalgas

Neddy Fintley Ariza Perez<sup>1</sup>, Andrés Fernando Barajas-Solano<sup>1</sup>, Janet Bibiana García-Martínez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación ambiente y vida, Departamento del medio ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander, Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Barrio Colsag,

\*Autor de correspondencia: janetbibianagm@ufps.edu.co

### Resumen

La baja eficiencia en el manejo del recurso hídrico es uno de los puntos clave para el desarrollo sostenible nacional y mundial para producir más y mejor alimento. De acuerdo con FAO, en 2050 la agricultura necesitará producir un 60% más de alimentos, lo que requerirá una alta disponibilidad del recurso hídrico. La piscicultura extensiva es reconocida como una de las actividades con mayor crecimiento mundial y con la capacidad de solventar la crisis de alimento que se avecina. Sin embargo, estos procesos requieren altas volúmenes de agua, y genera efluentes con altas cargas de compuestos nitrogenados, fosfatos y carbono orgánico disueltos, por lo cual no se recircula. Si bien existen tratamientos convencionales para el manejo de esta agua la mayoría son de alto costo y no generan ningún valor agregado a los productores. Uno de los métodos que pueden generar valor agregado es el uso de microalgas, ya que poseen la capacidad de secuestrar nutrientes y producir biomasa enriquecida con metabolitos de interés industrial. La integración de los sistemas de producción de algas en la piscicultura puede crear cadenas de valor ecológicas y eficientes en el uso de recursos con una baja huella hídrica y de carbono a través de la coproducción de productos de base biológica y biodegradables y que pueden ser aprovechados por la misma industria piscícola bajo un enfoque de economía circular. En el presente documento se presenta la cuantificación y caracterización de los residuos generados en un proceso de producción piscícola y se proponen alternativas para el tratamiento biológico de agua residual proveniente de la actividad piscícola, por medio de 2 microalgas (*Chlorella sp* y *Scenedesmus sp*) y 2 cianobacterias (*Spirulina máxima* y *Oscillatoria sp*), con el objetivo de verificar cual especie resulta más efectiva al momento de aminorar la cantidad de contaminantes fisicoquímicos presentes en el agua. Para realizar el adecuado análisis de remoción, se calculó la concentración inicial y final de trece parámetros que afectan la calidad del recurso. Se determinó que *Scenedesmus Sp* presenta para el día 30 una concentración

de 0,77 g/L para el medio no estéril siendo este el mejor resultado de las 4 cepas sin ajuste en el medio, con consumo de nitrógeno y fósforo de hasta el 50%. Se puede concluir que este proceso de fitorremediación a través de microalgas es un proceso viable y factible abriendo la puerta a nuevas investigaciones en pro de la mejora del proceso.

**Palabras Clave:** Biorremediación, residuos agrícolas, microalgas, piscicultura.

## Evaluación del potencial de las microalgas *scenedesmus dimorphus* y *chlorella vulgaris* para remover contaminantes orgánicos emergentes a escala laboratorio

Diego Rubio Fernández, Miguel Morales Granados<sup>1</sup>, Juan Sandoval Herrera<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Diseño Avanzado, Ingeniería Mecánica, Fundación Universidad de América

<sup>2</sup> Grupo de investigación en procesos de separación no convencionales, Ingeniería química, Fundación Universidad de América

\*Autor de Correspondencia: [juan.sandoval@profesores.uamerica.edu.co](mailto:juan.sandoval@profesores.uamerica.edu.co)

### Resumen

Los tratamientos de agua convencionales han demostrado ineficiencia a la hora de remover contaminantes orgánicos emergentes, en especial de tipo farmacológico, de las aguas residuales. Por otra parte, algunos tratamientos alternativos recientemente propuestos, presentan altos costos operacionales. Por las razones expuestas, existe la necesidad de profundizar la investigación y desarrollo de tratamientos alternativos. En este proyecto se busca, precisamente, evaluar el potencial real de microalgas como *Scenedesmus dimorphus* y *Chlorella vulgaris*, para remover un contaminante farmacológico, acetaminofén, a escala laboratorio. En esta primera etapa se determinó la tolerancia de cada especie ante el fármaco, es decir, la máxima concentración a la cual pueden sobrevivir bajo condiciones ambientales. Así mismo, se determinaron los costos del proceso a nivel laboratorio. Los resultados preliminares indican la viabilidad de remover dichos contaminantes por medio de la alternativa de tratamiento mediante las microalgas estudiadas.

**Palabras Clave:** contaminantes orgánicos emergentes, tratamientos biológicos, *Scenedesmus dimorphus*, *Chlorella vulgaris*.

## Fermentación alcohólica con células inmovilizadas para obtención de bebidas tipo cerveza

Camilo Mahnert<sup>1</sup>, Ignacio Oliva<sup>1</sup>, Renso Razeto<sup>1</sup>, Martha Cuenca-Quicazán<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Química, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Av Brasil 2162, Valparaíso, Chile.

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Nanomateriales e Ingeniería de Procesos Asistida Por Computador, Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Av. del Consulado Calle 30 No. 48- 152, Cartagena, Bolívar

\*Autor de correspondencia: [mcuencaq@unicartagena.edu.co](mailto:mcuencaq@unicartagena.edu.co)

### Resumen

La cerveza es un producto que proviene de la fermentación alcohólica en la cual participan levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) que transforman carbohidratos en etanol y dióxido de carbono. Actualmente existen estudios sobre técnicas diferentes al proceso tradicional para la fermentación alcohólica. El uso de levaduras inmovilizadas aplicadas a otros procesos fermentativos ha arrojado grandes resultados con respecto a la estabilidad, eficiencia y reutilización de la levadura. En Chile y Colombia, los estudios relacionados al uso de levadura inmovilizada para los procesos de fermentación alcohólica para obtención de cerveza son escasos, por lo cual se llevó a cabo una comparación de diferentes condiciones a nivel de laboratorio. Se llevaron a cabo tres ensayos por triplicado, utilizando reactores de 600 mL a 20°C durante 17 días. Se realizó el seguimiento a la concentración de etanol, grados Brix, pH y densidad específica respectivamente. En el primer ensayo se llevó a cabo una comparación entre las fermentaciones con levaduras libres e inmovilizadas, lográndose concentraciones finales de etanol de 0,038 g\*mL<sup>-1</sup> y 0,039 g\*mL<sup>-1</sup> respectivamente, y productividades de 2,199 g\*día<sup>-1</sup>\*mL<sup>-1</sup> y 2,313 g\*día<sup>-1</sup>\*mL<sup>-1</sup>. En el segundo ensayo compararon las fermentaciones realizadas con levadura libre, inmovilizada e inmovilizada reutilizada por primera vez; la producción de etanol fue de 0,047 g\*mL<sup>-1</sup>, 0,045 g\*mL<sup>-1</sup> y 0,050 g\*mL<sup>-1</sup> respectivamente, y productividades de 2,171 g\*día<sup>-1</sup>\*mL<sup>-1</sup>, 2,642 g\*día<sup>-1</sup>\*mL<sup>-1</sup> y 2,926 g\*día<sup>-1</sup>\*mL<sup>-1</sup>. En el último ensayo se estudió el comportamiento de la levadura reutilizada por primera y segunda vez arrojando una concentración de etanol de 0,041 g\*mL<sup>-1</sup> y 0,048 g\*mL<sup>-1</sup> respectivamente, y productividades finales de final de 2,401 g\*día<sup>-1</sup>\*mL<sup>-1</sup> y 2,815 g\*día<sup>-1</sup>\*mL<sup>-1</sup>. Se concluyó que, a las condiciones evaluadas, la reutilización de la levadura inmovilizada es promisoría para la obtención de productos tipo cerveza, debido a que la productividad alcanzada, así como la concentración de etanol son mayores que las obtenidas con las células libres. Se

recomiendan hacer ensayos con mayor número de reutilizaciones y con diferentes tipos de sustratos, evaluando las características sensoriales de los diferentes productos obtenidos, con el fin de involucrar la preferencia de los consumidores.

**Palabras Clave:** fermentación alcohólica; alginato de calcio; reutilización; cerveza.

## Análisis de factibilidad para la obtención de etanol a partir de cascarilla de arroz

*D. L. Restrepo-Serna<sup>1\*</sup>, A. Cacia-Silva<sup>1</sup>, A. G. Vejar-Gereda<sup>1</sup>, J. Corredor-Acuña<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup> Universidad de Pamplona, Pamplona, Norte de Santander, Zip Code: 543050, Colombia.

\*Autor correspondiente: [drestrepos@unal.edu.co](mailto:drestrepos@unal.edu.co)

### Resumen

La cascarilla de arroz es un residuo generado durante el proceso de molienda del arroz, por cada kilogramo de grano de arroz procesado son generados 0.28 kg de cascarilla (Rice husk - IRRI Rice Knowledge Bank n.d.). Para el 2017, Colombia reporta una producción de arroz blanco de 796,152 toneladas (MinAgricultura 2019), con una producción aproximada de 309,614 toneladas de cascarilla de arroz. Este residuo lignocelulósico, está compuesto principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina (Daza Serna, Orrego Alzate, and Cardona Alzate 2016), lo que lo hace un material prometedor para la obtención de una gran variedad de compuestos químicos y energía (Nita Babaso and Sharanagouda 2017). En la Figura 1, se muestran algunos productos que se pueden obtener a partir del grano de arroz, donde dejando el arroz blanco con fines alimenticios, la cascarilla de arroz presenta una gran variedad de alternativas de transformación. En Colombia, un biocombustible que ha cobrado gran importancia es el bioetanol, no solo por su uso como aditivo de la gasolina, sino como una posible alternativa para reemplazar este combustible derivado de fósiles. La producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica como lo es la cascarilla de arroz promueve el desarrollo tecnológico de zonas rurales y el comercio de estas regiones (Cardona Alzate 2009). Por lo anterior, este trabajo se enfoca en el análisis económico y energético de la producción de bioetanol a partir de la cascarilla de arroz como materia prima, considerando etapas de obtención de azúcares fermentables, fermentación, separación y purificación del bioetanol obtenido. El análisis económico se enfocó

en la influencia de diferentes factores sobre el valor presente neto del proceso; factores tales como fueron considerados: escala mínima de procesamiento e influencia del precio del bioetanol y la cascarilla de arroz en el mercado. Dicho análisis, se basó en la metodología reportada por (Serna-Loaiza, Carmona-García, and Cardona 2018). El análisis energético, se basó en la elaboración de diagramas de Sankey para el análisis de la distribución de la energía en el proceso, adicionalmente, empleo el cálculo de la exergía con el fin de realizar un análisis con mayor detalle de la energía del proceso (García et al. 2017; García, Betancourt, and Cardona 2016; Restrepo-Serna, Martínez-Ruano, and Cardona-Alzate 2018). Este estudio permitió identificar que la producción de etanol a partir de cascarilla de arroz requiere un mejoramiento tecnológico con el fin de mejorar los indicadores económicos y energéticos, donde el concepto de biorefinería se presenta como una alternativa con miras al diseño de procesos integrales.

**Palabras clave:** Análisis energéticos, análisis económicos, bioetanol, cascarilla de arroz

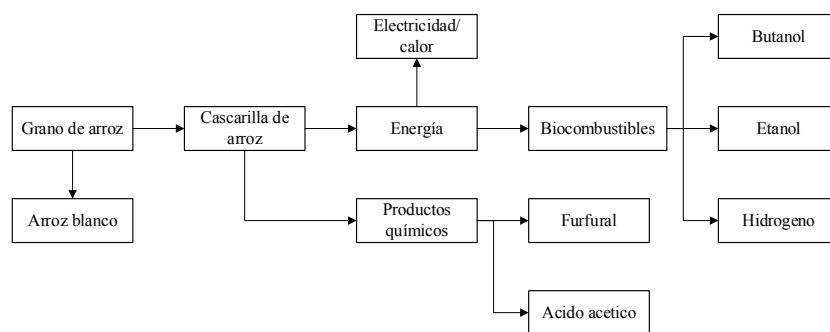


Figura 1. Alternativas para el procesamiento de la cascarilla de arroz

## Referencias

- Cardona Alzare, Carlos Ariel. 2009. "Perspectives of Biofuels Production in Colombia: Latinamerican and World Contexts." *Revista de Ingeniería. Unviersidad de los Andes:* 109– 20.

- Daza Serna, L. V., C. E. Orrego Alzate, and C. A. Cardona Alzate. 2016. "Supercritical Fluids as a Green Technology for the Pretreatment of Lignocellulosic Biomass." *Bioresource Technology* 199: 113–20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.09.078>.
- García, Carlos A., Ramiro Betancourt, and Carlos A. Cardona. 2016. "Stand-Alone and Biorefinery Pathways to Produce Hydrogen through Gasification and Dark Fermentation Using Pinus Patula." *Journal of Environmental Management*: 1–9.
- García, Carlos A., Jonathan Moncada, Valentina Aristizábal, and Carlos A. Cardona. 2017. "Techno-Economic and Energetic Assessment of Hydrogen Production through Gasification in the Colombian Context: Coffee Cut-Stems Case." *International Journal of Hydrogen Energy* 2.
- MinAgricultura. 2019. "Anuario Estadístico de Recursos Agrícolas." <http://www.agronet.gov.co> (January 29, 2020).
- Nita Babaso, Patil, and H. Sharanagouda. 2017. "Rice Husk and Its Applications: Review." *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci* 6(10): 1144–56. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.610.138> (January 29, 2020).
- Restrepo-Serna, Daissy Lorena, Jimmy Anderson Martínez-Ruano, and Carlos Ariel Cardona-Alzate. 2018. "Energy Efficiency of Biorefinery Schemes Using Sugarcane Bagasse as Raw Material." *Energies* 11(12): 1–12.
- "Rice Husk - IRRI Rice Knowledge Bank." <http://www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/postharvest/rice-by-products/rice-husk> (January 29, 2020).
- Serna-Loaiza, Sebastián, Estefanny Carmona-García, and Carlos A. Cardona. 2018. "Potential Raw Materials for Biorefineries to Ensure Food Security: The Cocoyam Case." *Industrial Crops and Products* 126(September): 92–102.

## Obtención de producto tipo salsa a base de *durvillae antarctica*

Jimmy Cortés<sup>1</sup>, Eduardo Meyer<sup>1</sup> Martha Cuenca-Quicazán<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Química, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Av Brasil 2162, Valparaíso, Chile.

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Nanomateriales e Ingeniería de Procesos Asistida Por Computador, Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Av. del Consulado Calle 30 No. 48- 152, Cartagena, Bolívar

\*Autor de correspondencia: [mcuencaq@unicartagena.edu.co](mailto:mcuencaq@unicartagena.edu.co)

### Resumen

El alga *Durvillaea antarctica*, endémica de Chile es de amplio consumo en el país austral, ya que se cuenta en abundancia en las playas de todo el país. Sin embargo, en la actualidad no existen productos estandarizados en el mercado que contengan dicha alga. En el presente trabajo se evaluó la aplicación de procesos de fermentación láctica utilizando microorganismos comerciales con el fin de obtener un producto tipo salsa a base de cochayuyo, a través de diversos procedimientos estandarizados, los cuales permitieron analizar el tiempo de vida útil del producto. Se llevó a cabo la recolección de datos experimentales, y se evidenció la falta de información referente a productos obtenidos a través de fermentación láctica; esto hace que existan posibilidades a mediano y largo plazo de obtener diversidad de productos, ampliando el campo de estudio de la ingeniería química. En la primera etapa, se prepararon dos prototipos de salsa y se seleccionaron 30 personas al azar, de distintos géneros y edades entre los 18 y 40 años, quienes degustaron las formulaciones preparadas. Se les solicitó que evaluaran el producto en función de su olor, apariencia, consistencia, acidez y nivel de sal. Tras analizar los datos recopilados, se definió que el modelo con mayor porcentaje de aprobación organoléptica fue la muestra 564, cuya composición contenía 40% de cochayuyo, 30 % garbanzos fermentados, 20 % cilantro y 10 % cebolla, con un pH final de 4,77. El porcentaje de acidez expresado como ácido láctico fue de  $0,3095\% \pm 0,0025$ , la viscosidad de la salsa fue de 4757 cP para un porcentaje de torque del 80% a 1RPM, y para la evaluación de la textura, se obtuvo una dureza de  $126,5 \pm 0,2$  gf, una consistencia de  $3859,8 \pm 0,2$  gf\*s, una cohesividad de  $-55,6 \pm 0,1$  gf y una adhesividad de  $-861 \pm 0,1$  gf\*s. Se concluyó que fue posible obtener un producto tipo salsa mediante fermentación láctica y procesos estandarizados, que cumple con la normatividad vigente y presenta

adecuadas propiedades nutricionales y organolépticas esperadas por el mercado chileno.

**Palabras Clave:** fermentación láctica; cochayuyo; salsa; estandarización; análisis sensorial

## Efecto del método de cosecha sobre la concentración de EPS en *Botryococcus braunii*

<sup>1</sup>Olga Michelle Galvis Camperos, <sup>2</sup>Nestor Andrés Urbina Suarez <sup>3</sup>Andrés Fernando Barajas-Solano  
Grupo de Investigación Ambiente y Vida, Departamento del Medio Ambiente, agrarias  
y del ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander,  
Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Barrio Colsag, Cúcuta - Colombia  
\*Autor de Correspondencia: [olgamichellegc@ufps.edu.co](mailto:olgamichellegc@ufps.edu.co)

### Resumen

*Botryococcus braunii* es una microalga muy atractiva y reconocida industrialmente, debido a sus metabolitos extracelulares (lípidos, proteínas, carbohidratos, etc.) que pueden usarse potencialmente como medicamentos, antioxidantes, reguladores del crecimiento, quelantes de metales, biocombustible, entre otros; además de la capacidad de producir exopolisacáridos (EPS). El presente estudio tuvo como objetivo, evaluar el efecto de centrifugación y electroflotación sobre la concentración de exopolisacáridos (EPS), además de determinar el efecto de la filtración sobre la concentración de EPS. El mantenimiento de *B. braunii* tuvo varias modificaciones debido a la presencia de contaminación, en el cual se le agregaron antibióticos como ampicilina (antibacteriano), cefatoxima (antibacteriano) y carbendazim (fungicida) para mejorar el rendimiento de la microalga en cuanto a la producción de biomasa, como también en la obtención de cultivo puro. Por otro lado, se reportó una proporción de biomasa del 10-15%, en comparación con otros estudios nos demuestra que hay más producción de esta que de EPS. El porcentaje de proteínas fue del 0.00397009% y el de glucosa 0.00390027%, demostrando así que *B. braunii* tuvo una mayor producción de carbohidratos en este caso de glucosa (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) que, de proteínas, volviéndola más atractiva en el mercado de farmacéuticos. Los resultados pudieron verse afectados debido a que,

la microalga fue perjudicada por dicha contaminación, bajando así su rendimiento en la obtención de metabolitos.

**Palabras Clave:** *Botryococcus braunii*, exopolisacáridos (EPS), biomasa.

## Producción de exopolisacáridos (EPS) de interés industrial a partir de microalgas y *cianobacterias*

<sup>1</sup>Gina Gabriela Leal Pérez, <sup>2</sup>Janet Bibiana García-Martínez <sup>3</sup>Andrés Fernando Barajas-Solano  
Grupo de Investigación Ambiente y Vida, Departamento del Medio Ambiente, agrarias  
y del ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander,  
Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Barrio Colsag, Cúcuta - Colombia

\*Autor de correspondencia: [ginagabrielp@ufps.edu.co](mailto:ginagabrielp@ufps.edu.co)

### Resumen

Las microalgas y cianobacterias típicamente son encontradas en cuerpos de agua dulce y salada, estas consisten en células individuales microscópicas conectadas para formar una sola masa. El objetivo de este estudio fue caracterizar fisicoquímicamente los EPS obtenibles de microalgas y cianobacterias. Los microorganismos que se estudiaron fueron, una microalga *Botryococcus braunii* y una cianobacteria *Oscillatoria sp*, estas cepas se tomaron del laboratorio y grupo de investigación INNOVALGAE, en este mismo lugar se llevó a cabo su mantenimiento y cultivo; las primeras semanas después de su inoculación se tuvieron con una cantidad suficiente de CO<sub>2</sub>, ayudando a su crecimiento. Se llevaron a cabo técnicas como centrifugación, filtración; donde se hallaron sus respectivos pesos en seco para obtener la cantidad de biomasa y porcentaje en cenizas. Asimismo, se determinó la concentración de exopolisacáridos (EPS), dando como producto en *B. braunii*  $4.491 \times 10^{-5}$  g/L de EPS en 1L de muestra y en *Oscillatoria sp* 0.21408 mg/l teniendo en cuenta su fuente lumínica donde la más concentrada fue la luz LED. Sobre la producción de proteínas en *B. braunii* se consiguió un valor del 0.0039% siendo un dato bajo, en comparación con *Oscillatoria sp* donde se alcanzó 0.01146348 %, en cuanto a los valores promedios de EPS en glucosa el dato mayor se consiguió en *Oscillatoria sp*. Se pudo evidenciar que cuando se trabaja en ciclos cerrados y a pequeña escala de laboratorio los microorganismos están limitados y expuestos a diferentes factores que le ayudan o afectan su

crecimiento, de tal manera se cumplieron a cabalidad los objetivos establecidos, caracterizando cada microorganismo fisicoquímicamente.

**Palabras Clave:** Exopolisacáridos (EPS), *Botryococcus braunii*, *Oscillatoria sp*, concentración.

## Mejoramiento de los parámetros de extracción de *ficocianinas* de cianobacterias termotolerantes

<sup>1</sup>Astrid Melissa Rojas Márquez\*, <sup>1</sup>German Luciano López-Barrera, <sup>1</sup>Andrés Fernando Barajas-Solano

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Ambiente y Vida, Departamento del Medio Ambiente, agrarías y del ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander,

Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Barrio Colsag, Cúcuta - Colombia

\*Autor de correspondencia: [astridmelissarm@ufps.edu.co](mailto:astridmelissarm@ufps.edu.co)

### Resumen

La biotecnología es una disciplina que constantemente innova en distintos campos haciendo uso de los seres vivos para los seres vivos; uno de sus relevantes ámbitos de estudio actuales es el uso de microalgas y cianobacterias para la producción de distintos compuestos de interés como pigmentos fotosintéticos como clorofilas, xantofilas y ficobiliproteínas, ácidos grasos, polisacáridos, alcoholes, etc. Uno de estos compuestos bastante valorizado por sus grandes beneficios y a la vez difícil obtención son las Ficocianinas que son 1 de las 3 Ficobiliptrinas, las cuáles son proteínas solubles en agua y que hacen el papel de pigmentos fotosintéticos accesorios en las algas, microalgas y cianobacterias. El principal potencial de las ficocianinas es su uso como colorantes naturales, pero un número creciente de estudios ha demostrado las propiedades relacionadas con los beneficios para la salud y la amplia aplicación farmacéutica; además su valor comercial se relaciona mucho con su grado de pureza.

En estudios previos y en sí en procesos ya establecidos se ha obtenido resultados favorables para la extracción de dicho compuesto; sin embargo, no llegan a ser del todo eficientes. Muchos estudios muestran que el combinar diferentes tipos y secuencias del proceso de la extracción en sí son la mejor opción para ésta; sin embargo, ha hecho falta evaluar algo más específico, los parámetros críticos para la extracción y así poder optimizarla a un enfoque más general. Al no existir casi información específica de estos datos, hace necesario su evaluación y estudio,

obteniendo así más cercanía a las condiciones óptimas de la extracción de las Ficocianinas. En esto ha consistido el proyecto del actual resumen, en encontrar los parámetros críticos para la extracción de Ficocianinas a partir de cianobacterias termotolerantes y para establecer dicha propuesta se determinó el efecto del método de destrucción celular, analizando el efecto de la humedad de la biomasa y las condiciones de pH, molaridad y relación biomasa/solvente del buffer de extracción, y el tiempo en vortex. Los resultados obtenidos mostraron cómo la biomasa seca secada en filtros es la mejor opción, y respecto al buffer de fosfato es mejor aquél con un pH de 6,8 pero a una molaridad 0,01M.; también es relevante el tiempo en vortex, concluyéndose que entre más tiempo, mejor rompimiento tendrán las células. La sustancia (con las ficocianinas) resultante con dichas condiciones es de un azul más intenso.

**Palabras Clave:** Ficocianinas, Ficobiliproteínas, extracción, temperatura, tiempo, pH

## **Diseño conceptual de un sistema para la captura de CO<sub>2</sub> de gases de una empresa ladrillera empleando *chlorella vulgaris* utex 1803 en condiciones ambientales. Biofijación de carbono por medio de la microalga *chlorella vulgaris* utex 1803**

Andrea Carolina Bohórquez Barrera<sup>1\*</sup>, Andrés Fernando Barajas-Solano<sup>1</sup>, Luis Javier López Giraldo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias y Tecnologías Ambientales, Facultad de Química Ambiental, Universidad Santo Tomás.

\*Autor de correspondencia: [andreabohorquez09@gmail.com](mailto:andreabohorquez09@gmail.com)

### **Resumen**

En los últimos años, se ha incrementado el uso de combustibles fósiles, en gran parte por la demanda de energía y por el uso de calefacción doméstica e industrial, afectando significativamente el medio ambiente debido a las constantes emisiones atmosféricas, lo que ha ocasionado el incremento y la frecuencia de padecimiento de enfermedades respiratorias en los seres humanos y animales. Dentro de los gases emitidos se encuentran el ozono troposférico, metano, clorofluorocarbonados (CFC) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gases llamados comúnmente GEI (Gases de efecto invernadero). Según la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NOAA) (Butler, 2019), de 1990 a 2018 el efecto de los

GEI aumentó en un 43% y el CO<sub>2</sub> representó aproximadamente un 81% de dicho aumento (Boletín OMM GEI, 2019).

Esto ha motivado a realizar investigaciones sobre alternativas biológicas para la mitigación de emisiones atmosféricas y sus efectos en el medio ambiente. Es así como las microalgas han generado un gran interés, debido a la alta capacidad de captura y fijación de CO<sub>2</sub>, a la utilidad por la producción de biomasa, la cual presenta múltiples beneficios comerciales y a su fácil adaptación y crecimiento al medio donde se aplique. Sin embargo, estos sistemas necesitan tener en cuenta ciertas consideraciones que hagan más eficientes la capacidad de captura y fijación de CO<sub>2</sub>, entre las que se encuentran: la especie de microalga, la proporción de nutrientes en el medio, la intensidad lumínica, el pH, la temperatura y el porcentaje de CO<sub>2</sub> utilizado en el gas de alimentación (Toledo-Cervantes et al., 2013).

Por lo tanto, se hace necesario optimizar un ambiente adecuado para su desarrollo, buscando las condiciones que favorecen la producción celular, mejorando los niveles de productividad y proporcionando una biomasa enriquecida con compuestos de interés comercial (Ortega *et al.*, 2004). Así mismo, la variación de nutrientes fundamentales como el fósforo y el nitrógeno, compuestos que afectan directamente el crecimiento celular e influyen en su producción deben ser optimizados en aras de obtener máximos de fijación de CO<sub>2</sub>. Dentro del presente documento se pretende determinar las concentraciones de N:K:P, las dimensiones del fotobiorreactor y proponer el diseño conceptual de un sistema de cultivo de microalgas para la captura de CO<sub>2</sub>. Para ello, se realizaron diagramas de Pareto y superficies de respuesta con el fin de conocer la influencia de las variables de estudio, como los nitratos y fosfatos sobre la producción de biomasa. Los resultados mostraron que la concentración de nitrato de sodio ejerce una influencia positiva en la producción de biomasa, es decir a mayor concentración de nitrato (9 mL/L), se obtiene una mayor cantidad de biomasa (2,2 g/L), evidenciando que no hay mayor significancia si se aumentan las fuentes de fósforo (K<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>). Finalmente se logró comprobar que las dimensiones del fotobiorreactor plano (ancho y profundidad) no afectaron la captura de CO<sub>2</sub> y biomasa producida a partir del gas de chimenea de la ladrillera.

**Palabras Clave:** Contaminación atmosférica, dióxido de carbono, Microalgas, nutrientes.

## Fermentación láctica de pulpas de frutas y vegetales

María Angélica Benavides Martín<sup>1\*</sup>, Paulo César Narváez Rincón<sup>1</sup>, Marta Cecilia Quicazán<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Grupo de Procesos químicos y Bioquímicos, Doctorado en Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Carrera 30 # 45-03

\*Autor de correspondencia: mabenavidesma@unal.edu.co

### Resumen

A pesar de los múltiples esfuerzos por aumentar el consumo de frutas y de hortalizas a nivel mundial, son éstos los alimentos con mayores reportes de pérdidas en nuestro país. Como una estrategia para la transformación y conservación de estos alimentos se planteó la aplicación de la fermentación láctica con microorganismos tradicionalmente empleados en la obtención de yogurt. Se evaluó la fermentación láctica de frutas y vegetales, amarillos y rojos (mango - *Mangifera indica*, guayaba - *Psidium guajava*, ahuyama - *Cucurbita máxima* y remolacha - *Beta vulgaris*), seis sustratos en total, con el fin de obtener un proceso de transformación y conservación de estos alimentos de origen vegetal. Las pulpas fueron inoculadas en una concentración aproximada de  $10^3$  UFC/g con cultivos probióticos comerciales (*Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*) y se fermentaron manteniendo la temperatura a 42°C de 6 a 24 horas. Se realizó el seguimiento de propiedades fisicoquímicas (pH, acidez titulable y sólidos solubles) y del crecimiento bacteriano (bacterias lácticas). Se presentó crecimiento de las bacterias lácticas inoculadas en las pulpas de mango ( $10^8$  UFC/g luego de 24h), de hortalizas ( $10^6 - 10^8$  UFC/g luego de 6h) y en las mezclas ( $10^6 - 10^7$  UFC/g luego de 16h), pero no en la guayaba. Este crecimiento estuvo acompañado de aumento en la acidez titulable, descenso en el pH y una estabilidad en los sólidos solubles. Con los resultados obtenidos se realizó el ajuste de modelos (ecuación logística, Monod y Gompertz) y así obtener los parámetros que permiten describir las cinéticas de crecimiento. Adicionalmente se realizaron análisis sensoriales descriptivos y de aceptabilidad de los productos fermentados. Los resultados de estos ensayos permiten identificar la fermentación láctica como un proceso alternativo de transformación y conservación de alimentos de origen vegetal, así como una opción para el consumo de probióticos especialmente para la población que no consume lácteos o cárnicos.

**Palabras Clave:** fermentación, frutas y hortalizas, probióticos, cinética de crecimiento.

## Determinación de fuentes de carbono en la producción de biomasa de microalgas cultivadas en aguas residuales de piscicultura

<sup>1</sup>Nicolaz Alejandro Carvajal Albarracín\*, <sup>2</sup>Viatcheslav Kafarov, <sup>1</sup>Janet Bibiana García-Martínez

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Ambiente y Vida, Departamento del Medio Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander, Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Barrio Colsag, Cúcuta - Colombia

<sup>2</sup>CIDES, Universidad Industrial de Santander, Cra 27 calle 9. Bucaramanga - Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [nicolazalejandroca@ufps.edu.co](mailto:nicolazalejandroca@ufps.edu.co)

### Resumen

Se estudiaron dos cepas diferentes *Chlorella* sp y *Scenedesmus* sp aisladas de un termal local de la ciudad de Cúcuta y que se encuentran almacenada en el cepario de la UFPS. La investigación tuvo como objetivo evaluar dos fuentes de carbono (orgánico e inorgánico) para la producción de biomasa microalgal en aguas residuales de piscicultura. Las dos fuentes implementadas en el presente estudio fueron carbonato y bicarbonato de sodio, las cuales se utilizaron a diferentes concentraciones en un periodo de 30 días realizando mediciones cada 10 días. Se demostró que *Scenedesmus* sp no respondió significativamente a ninguna de las concentraciones de fuente de carbono, por el contrario, *Chlorella* sp mostro sus mayores rendimientos de biomasa en medio de cultivo con concentraciones de 1,2 g/L de bicarbonato y 1,6g/L de carbonato de sodio.

**Palabras claves:** Agua residual, biomasa, fuentes de carbono y microalga.

## Aplicación de la biodiversidad de cianobacterias y microalgas en sistemas de piscicultura continental

Ana María Martínez<sup>1\*</sup>, Germán Luciano López-Barrera<sup>1</sup>, Janet Bibiana García-Martínez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Ambiente y Vida, Departamento del Medio Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander, Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Barrio Colsag, Cúcuta - Colombia

\*Autor de correspondencia: [anamariamo@ufps.edu.co](mailto:anamariamo@ufps.edu.co)

### Resumen

Hoy en día es inevitable pasar por desapercibido el cambio climático y las afectaciones que trae con sí mismo este, por ejemplo la contaminación de cuerpos de agua por tal razón se han llevado a cabo investigaciones para contrastarlo o controlarlo porque como se puede saber el medio ambiente es primordial para cada uno de los habitantes que se encuentran en él, por tal razón han surgido tecnologías con el fin de cuidar el medio ambiente, como la reutilización de residuos y la generación de energías limpias de bajo costo. Se puede encontrar en estas tecnologías los cultivos de microalgas que adquieren un gran papel, al ser consideradas eco-amigables porque son capaces de reciclar contaminantes desde medios líquidos y gaseosos, incorporándolos a su metabolismo para generación de biomasa. Por tal razón este trabajo pretende especificar la manera de recolección, los medios adecuados que son utilizados para su respectivo crecimiento siendo estos los que les brindan sus nutrientes para un óptimo crecimiento por tal razón también sirven para eliminar otros microorganismos que se encuentren presentes en la muestra del agua piscícola y por último la obtención de un cultivo monoalgal para lograr visualizar la eficiencia que tiene al momento de su crecimiento comparando dos efectos ciclo luz (12:12– 24:0). Los resultados obtenidos en este trabajo fue la presencia de cultivos monoalgales como lo son de *Chlorella sp*, *Coelastrella sp*, *Oscillatoria sp*, *Selenastrum sp*, *Chlorococcum sp*, *Euglena sp*, este procedimiento fue de una larga espera al momento de obtener los cultivos porque se necesita de un buen manejo de limpieza y manejar en condiciones óptimas todo el material para obtener los mejores resultados.

**Palabras Clave:** Microalgas, medios de cultivos, piscícola, aprovechamiento.

## Diseño de un medio de cultivo mejorado para la producción de microalgas empleando agua residual de piscicultura

<sup>1</sup>Leidy Paola Sánchez Tobos\*, <sup>2</sup>Crisóstomo Barajas-Ferreira, <sup>1</sup>Janet Bibiana García-Martínez.  
Universidad Francisco de Paula Santander

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Ambiente y Vida, Departamento del Medio Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander, Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Barrio Colsag, Cúcuta - Colombia

<sup>2</sup>CIDES, Universidad Industrial de Santander, Cra 27 calle 9. Bucaramanga - Colombia.

\*Autor de correspondencia: [leidypaolast@ufps.edu.co](mailto:leidypaolast@ufps.edu.co)

### Resumen

En los últimos años ha incrementado el daño ambiental ocasionado por vertimientos de aguas residuales en afluentes cercanos y así mismo, se ha estudiado la forma de disminuir los costos de medios de cultivo tradicionales para el crecimiento de microalgas, por esto, se pretende encontrar una forma de aprovechar este tipo de agua residual para disminuir costos en la producción de biomasa que permitan obtener una mayor productividad logrando un sistema de eficiencia que podría ser aplicado para estudio en otros tipos de agua residual. Estos microorganismos se han estudiado por ser fuente para la obtención de productos con valor agregado en diferentes sectores como la industria alimenticia, agrícola, fármacos, bioenergía, entre otros. En el presente trabajo de investigación se diseñó un medio de cultivo ajustado para microalgas a partir de agua residual de explotación piscícola de la especie *Oreochromis sp* (Tilapia roja), a partir del diseño de experimentos elaborado en el Software STATISTICA 7.0 con el fin de evaluar la concentración de fuente de N, P y K de las aguas residuales de piscicultura y determinar las condiciones mínimas para el aprovechamiento de este tipo de efluentes para la producción de biomasa. Se estudió, el comportamiento de *Chlorella sp* y *Scenedesmus sp* durante 30 días, evaluando el consumo de compuestos ( $\text{NO}_3$  y  $\text{PO}_4$ ), crecimiento de biomasa, producción de proteínas por método de Lowry. Los resultados obtenidos con *Scenedesmus sp* indican una remoción de hasta un 99,8% de  $\text{NO}_3$ , 60,4% de  $\text{PO}_4$ , crecimiento de biomasa de 1,2 g/L y 45,8% de proteína, por el contrario, con *Chlorella sp* se removió un 98,8% de  $\text{NO}_3$ , 36,3% de  $\text{PO}_4$ , obteniéndose 0,52 g/L de biomasa y un porcentaje bajo de proteína. Finalmente se determinó que con *Scenedesmus sp* se lograron los mejores resultados utilizando el medio de cultivo diseñado.

**Palabras Clave:** Agua residual, medio de cultivo, microalgas, *Oreochromis sp*

## Construcción de un fotobiorreactor “Open Access” para la selección de cepas promisorias de cianobacterias

*Jefferson Eduardo Contreras-Ropero<sup>1</sup>, Janet Bibiana García-Martínez<sup>1</sup>,  
Andrés Fernando Barajas-Solano<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Ambiente y Vida, Departamento del Medio Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander, Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Barrio Colsag, Cúcuta - Colombia

\*Autor de correspondencia: [Andresfernandobs@ufps.edu.co](mailto:Andresfernandobs@ufps.edu.co).

### Resumen

En la actualidad las problemáticas medio ambientales a causa de la explotación y mal manejo de los recursos naturales como el subsuelo, fuentes hídricas y aire, ha transformado el fenómeno de calentamiento global de un simple concepto hasta afectar nuestro patrimonio natural a corto, mediano y largo plazo, e inclusive con daños irreparables en ellos, representando así un detrimento en nuestra calidad de vida. En ese contexto radica la importancia de muchos investigadores en indagar nuevas alternativas sustentable que generen un bien común y sean amigables con el medio ambiente, ayudando así a mitigar el gran impacto que se está generando por el mal uso de nuestros ecosistemas, puesto que los esfuerzos dados por diferentes organismos en sensibilizar a la población mundial no han tenido el éxito esperado.

Las cianobacterias además de constituir un sistema sostenible en la producción de alimento y sus beneficios eco-amigables, debido a su papel en la biorremediación de aguas con diferentes fuentes de contaminación, son de gran interés en diferentes industrias como: nutrición, acuicultura, farmacéuticos y biocombustibles, puesto que poseen una alta tasa de crecimiento, con un potencial para reducir los costos en la obtención de productos de valor agregado, compensando así las emisiones de carbono. Estos organismos necesitan tres parámetros fundamentales: una es la fuente de carbono, otra es la fuente de energía, en este caso la luz conocida como la radiación fotosintéticamente activa y por último el fotoperiodo expuesto, ya que de esta se desprende la fotosíntesis. Sin embargo, la baja productividad debido a la complejidad de las técnicas por el uso de los organismos y sus diversas necesidades impide la producción a gran escala de dichos cultivos, puesto que, en la mayoría de configuraciones de los fotobiorreactores no hay una incidencia uniforme de luz, limitando así la fijación del CO<sub>2</sub> y

por consiguiente su velocidad de crecimiento. el desarrollo de las cianobacterias va en conjunto con el uso de biorreactores, los cuales se presentan como el eslabon principal en la construcción de plantas pilotos, puesto que en ellos ocurre el cultivo celular y producción de los metabolitos, con finalidades de optimización del diseño particular de los organismos en uso. Permitiendo, disminuir los costos y aumentar la tasa de crecimiento y producción de los bienes; dichos biorreactores se dividen en 2 grandes sistemas: Sistemas abiertos y cerrados; cada uno de estos es actualmente comercializado industrialmente con objeto de investigación, no obstante, el costo de adquisición es muy elevado, condicionando así el desarrollo de nuevas investigaciones.

El siguiente trabajo tiene como objetivo principal diseñar y construir un fotobiorreactor para el estudio y la determinación de las variables específicas que afecten la deposición final de los metabolitos de interés industrial en cada organismo. Los factores establecidos para el diseño del fotobiorreactor son: Agitación, Intensidad lumínica y tipo de luz. Se encontró que las condiciones óptimas para aumentar la productividad de ficocianinas en *Oscillatoria* sp es de una agitación media, un tipo de luz mixta y un fotoperiodo 16:8 a un tiempo específico de 10 Días.

**Palabras Clave:** Fotobiorreactor, construcción, *Oscillatoria* sp, pigmentos.

## Evaluación de la concentración de micronutrientes en la producción de biomasa y ficocianinas en *Oscillatoria* sp. ufps\_001

<sup>1</sup>Ángela Gisselle Leal Jerez, <sup>1</sup>Andrés Fernando Barajas-Solano, <sup>2</sup>Crisóstomo Barajas-Ferreira

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Ambiente y Vida, Departamento del Medio Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander, Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Barrio Colsag, Cúcuta - Colombia

<sup>2</sup>CIDES, Universidad Industrial de Santander, Cra 27 calle 9, Bucaramanga - Colombia.

\*Autor de correspondencia: [angelagissellelj@ufps.edu.co](mailto:angelagissellelj@ufps.edu.co)

### Resumen

Los elementos traza o micronutrientes tienen gran influencia sobre el crecimiento y producción de metabolitos en muchas variedades de cepas, estos son requeridos en muy pequeñas cantidades desde micro, nano o picogramos por litro. Los más necesarios en la mayoría de especies son el hierro, cobalto, zinc,

níquel, manganeso, cobre, boro, vanadio y molibdeno; en general, estos elementos son suministrados como una solución de metales al medio que se va a utilizar para el cultivo; por lo tanto esta investigación tuvo como objetivo la evaluación y determinación de la concentración de micronutrientes que influyen en la producción de biomasa y ficobiliproteínas (PBP) en *Oscillatoria* sp. Se comenzó por determinar a qué fotoperiodo se obtenía más biomasa y PBP para llevar a cabo el mantenimiento e inoculación de los demás diseños experimentales; se encontró que el ciclo 24:0 fue el más favorable en cuanto a producción de biomasa en comparación al ciclo 12:12, pero con igual cantidad de síntesis, concentración y grado de pureza de PBP. La evaluación de micronutrientes se realizó mediante un diseño de experimentos de tipo central no factorial 33 (3 factores, 3 niveles) con superficie de respuesta empleando el software STATISTICA 7.0®, donde se determinó la interacción entre cada uno de estos; los datos arrojados en esta evaluación determinan que se puede rebajar el porcentaje de elementos traza en el medio BG11, sin disminuir la cantidad de biomasa y producción de PBP que generalmente resultaría utilizando este medio al 100%.

**Palabras clave:** micronutrientes, ficobiliproteínas, fotoperiodo, *Oscillatoria* sp.

## Ajuste de un proceso de precipitación de proteínas para la purificación de ficocianinas

<sup>1</sup>Moisés David Duarte Rodríguez, <sup>2</sup>Crisóstomo Barajas-Ferreira, <sup>1</sup>Andrés Fernando Barajas-Solano

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Ambiente y Vida, Departamento del Medio Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander, Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Barrio Colsag, Cúcuta - Colombia

<sup>2</sup>CIDES, Universidad Industrial de Santander, Cra 27 calle 9, Bucaramanga - Colombia.

\*Autor de correspondencia: [moisesdavidr@ufps.edu.co](mailto:moisesdavidr@ufps.edu.co)

### Resumen

Las ficobiliproteínas, son proteínas brillantes, solubles en agua, asociadas a los procesos fotosintéticos en cianobacterias. Este tipo de proteína poseen propiedades antioxidantes, inmunomoduladoras y citoprotectoras, en este trabajo determinó las condiciones más eficientes para un proceso de precipitación de proteínas para la purificación de ficocianinas, evaluó el efecto de la concentración del sulfato de amonio en la precipitación de ficobiliproteínas, determinó el efecto del tiempo de agitación y tiempo de incubación en la precipitación de

ficobiliproteínas. De acuerdo con los Resultados obtenidos sobre este trabajo al secar la biomasa de una manera adecuada, dejará predisuestas a las células a que sus componentes intracelulares se liberen con mayor facilidad, pues sus paredes celulares están más débiles, pero sus productos de interés no han sido “arrastrados” ni desestabilizados. En los resultados cualitativos que la biomasa húmeda se obtuvo con el color más oscuro, has seguido por la biomasa seca en filtro. Los resultados de este trabajo son de interés biotecnológico, en cuanto a la producción de pigmentos mediante cianobacterias. Los factores de conversión de sustrato en biomasa seca demuestran que mejores PBP's, La variación de las condiciones de cultivo tuvo un efecto especialmente superior, los extractos con Ficobiliproteínas obtenidas con el Diseño Plackett- Burman a partir de biomasa seca. Puede observarse que el color obtenido está muy lejos del color típico del color azul intenso de los extractos con PBP's.

**Palabras Clave:** Ficobiliproteínas, Ficocianinas, Purificación, Cianobacterias

## Evaluación de la concentración de macronutrientes en la producción de biomasa y ficocianinas en *oscillatoria* sp. Ufps\_001

Leidy Katherine Morales Rivas<sup>1</sup>, Andrés Fernando Barajas-Solano<sup>1</sup>, Janet Bibiana García-Martínez<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Ambiente y Vida, Departamento del Medio Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander, Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Barrio Colsag, Cúcuta - Colombia

\*Autor de Correspondencia: [leidykatherinemr@ufps.edu.co](mailto:leidykatherinemr@ufps.edu.co)

### Resumen

Diferentes cepas de cianobacterias presentan la capacidad de producir compuestos de interés comercial de acuerdo a sus características fisiológicas y de las condiciones de cultivo; Para mejorar la eficiencia en cuanto a la producción de pigmentos, proteínas o de metabolitos con actividad biológica, es necesario optimizar su crecimiento en función de la temperatura, irradiancia, salinidad, agitación, concentración y naturaleza de nutrientes en condiciones de laboratorio; razón por la cual esta investigación se enfocó en determinar la concentración de macronutrientes que afectan la producción de biomasa y ficobiliproteínas de *Oscillatoria* sp en biorreactores de 500mL con capacidad de trabajo de 300ml de los cuales 250mL corresponden al medio BG11 y 50mL al inóculo de la cepa estudiada; primero se realizó una determinación de los ciclos luz: oscuridad 12:12

y 24:0 (Luz:Oscuridad) con el fin de conocer a cuál exigencia lumínica responde mejor la cianobacteria; obteniendo un resultado favorable para el ciclo 24:0 ya que crecieron en menos días, produjeron más cantidad de biomasa con respecto al ciclo 12:12, arrojando igual cantidad de producción, concentración y grado de pureza de las ficobiliproteínas. Una vez se tuvo claro, se realizó un diseño de experimentos tipo Plackett- Burman para evaluar diferentes concentraciones de  $\text{NO}_3/\text{HCO}_3/\text{PO}_4$  (macronutrientes), se dispusieron 18 biorreactores variando cada uno con una concentración específica de macronutrientes y 1 conservando las concentraciones del medio BG11 utilizado como control, se dejaron crecer por 10 días y se pudo determinar mediante las gráficas de Pareto que los factores evaluados no afectan de manera significativa la producción de biomasa y ficobiliproteínas, por lo que se puede llevar al límite mínimo exigido por *Oscillatoria* sp. sin afectar la producción de los metabolitos de interés.

**Palabras clave:** macronutrientes, ficobiliproteínas, ciclo luz: oscuridad, cianobacteria.

## Determinación de las cinéticas de respiración de frutos de uchuva (*physalis peruviana*) en función de las concentraciones de $\text{O}_2$ , $\text{CO}_2$ y la temperatura

Johanna Garavito<sup>1</sup>, Diana Moncayo Martínez<sup>1</sup>, Diego Alberto Castellanos<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Calidad y Poscosecha de Productos Agrícolas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Carrera 30 Número 45 – 03 Edificio 500 Laboratorio 118a

<sup>2</sup> Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Carrera 30 Número 45 – 03 Edificio 500 A

\*Autor de Correspondencia: [dacastellanose@unal.edu.co](mailto:dacastellanose@unal.edu.co)

### Resumen

En un vegetal fresco, la respiración permite inferir la velocidad a la cual el deterioro de dicho material ocurrirá. Al establecer la cinética de este proceso (consumo de  $\text{O}_2$  y producción de  $\text{CO}_2$ ) y su relación con variables extrínsecas como la temperatura y la concentración de gases en la atmósfera, es posible configurar condiciones de almacenamiento favorables para la preservación del producto. En este trabajo se hizo una correlación de parámetros a partir de datos experimentales para determinar las cinéticas de consumo de  $\text{O}_2$  y producción de  $\text{CO}_2$  para frutos de uchuva a diferentes temperaturas.  $102,3 \pm 0,7$  g de frutos de

uchuva de madurez intermedia (estado 4 de 7) se introdujeron en recipientes plásticos herméticos ( $V_{\text{líbre}}=356,1 \pm 5,6 \text{ cm}^3$ ) a diferentes temperaturas (5,5-25,6 °C) determinando el cambio en la concentración de O<sub>2</sub> y de CO<sub>2</sub> a lo largo del tiempo. Todas las pruebas se hicieron por triplicado. A partir de los datos de cambio en la concentración de datos se hizo un ajuste de parámetros evaluando tres diferentes modelos cinéticos para representar la respiración: 1) Ley de potencias (LP), 2) modelo de Michaelis-Menten simple (MM) y 3) Michaelis-Menten con inhibición anticompetitiva por CO<sub>2</sub> (MMA). La dependencia con respecto a la temperatura se tuvo en cuenta en los tres modelos acoplado el modelo de Arrhenius en los parámetros cinéticos. Con la cinética MMA fue posible obtener un alto grado de cercanía al comportamiento experimental para los cambios en las concentraciones de O<sub>2</sub> y de CO<sub>2</sub> ( $R^2= 0,955$  y  $0,967$ ). La cinética MM tuvo un ajuste aceptable ( $R^2_{\text{aj.}} = 0,954$  y  $0,943$ ), mientras que la Ley de potencias no pudo explicar el comportamiento observado ( $R^2_{\text{aj.}} = 0,955$  y  $0,967$ ). A partir del modelo de respiración obtenido, es posible configurar un sistema de almacenamiento y empaque proponiendo las ecuaciones de balance de gases para obtener niveles de estos favorables para la preservación de los frutos de uchuva.

**Palabras Clave:** Michaelis-Menten, Ley de potencias, consumo de O<sub>2</sub>, generación de CO<sub>2</sub>, correlación de parámetros

## Desarrollo de cerveza smash ale con características prebióticas

*Lina Juliana Castro Huari<sup>1</sup>, Juan Carlos Serrato Bermúdez<sup>2</sup>, Germán Andrés Castro Moreno<sup>2\*</sup>*

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Carrera 30 No 45-03, Ciudad Universitaria, Bogotá D.C.

<sup>2</sup>Programa de Ingeniería de Alimentos, Universidad de La Salle, Carrera 2 No 10-70, Bogotá D.C.

\*Autor de correspondencia: [gacastro@unisalle.edu.co](mailto:gacastro@unisalle.edu.co)

### Resumen

El mercado de la cerveza artesanal presenta un crecimiento exponencial desde hace un par de décadas y cada vez son más los emprendedores que buscan un aspecto diferenciador en su producto final. Una de las tendencias de la innovación de los alimentos es la de beneficiar la salud del consumidor. En respuesta a estas tendencias, el objetivo de este proyecto fue el de elaborar una cerveza artesanal adicionada con prebióticos. Se utilizaron dos fuentes de prebióticos, la

primera, inulina, que es una fibra de origen vegetal encontrada en el mercado y la segunda es el yacón, tubérculo andino que se caracteriza por su alto contenido de esta fibra (20%). Su carácter prebiótico radica en que se usa como sustrato energético por las bacterias del intestino grueso, por lo que tiene efectos positivos sobre la salud del sistema digestivo, la función inmunológica y su papel relevante en la prevención de cáncer de colon. La búsqueda por brindarle estos beneficios a la cerveza, se ha reflejado en el desarrollo de diferentes trabajos, por ejemplo el titulado "Probiotic alcohol-free beer made with *Saccharomyces cerevisiae* var. *Boulardii*" (2019) que documentó el desarrollo de una cerveza sin alcohol con propiedades probióticas. Otro antecedente es el trabajo de investigación presentado en 2017 llamado "Cerveza a base de yacón", para la Facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo, presentado por Rodríguez Ibaceta Sandro y Torres Olano Braulio, donde busca evaluar la viabilidad financiera de la producción de una cerveza a base de yacón.

En la primera etapa del presente trabajo se evaluó la aplicación de inulina, para lo cual se llevaron a cabo las pruebas a dos temperaturas de maceración (65°C y 70°C) cada una de ellas con adición de la fibra antes de la fermentación, después de esta y sin adición (blanco), para un total de 6 ensayos llevados a cabo por duplicado, para un total de 12. Para la segunda parte de la experimentación, se adicionó el yacón en la elaboración a tres concentraciones 30, 45 y 60 g de yacón/ litro de cerveza, cada una de estas pruebas se realizan por duplicado, manteniendo temperaturas y condiciones de proceso establecidas desde la primera parte de la experimentación, obteniendo así 6 lotes más. Se obtuvieron cervezas con cantidades finales de inulina superiores a los 6mg/g de cerveza, que de acuerdo a la normatividad europea permite clasificarla como alimento con carácter prebiótico. También se observó un cambio en las propiedades organolépticas del producto final para las cervezas con adición de yacón (turbiedad), incluso los porcentajes de alcohol presentes en cada cerveza variaron con las diferentes adiciones. Finalmente, se puede afirmar que la inulina aumenta la capacidad prebiótica de la cerveza, aunque esta ya tiene cierta capacidad prebiótica gracias a los ingredientes tradicionales utilizados y al proceso. En el proceso evaluado no se llevaron a cabo operaciones de pasteurización o filtración para el producto final, lo que podría disminuir su capacidad prebiótica.

**Palabras Clave:** cerveza, yacón, prebiótico, fructooligosacáridos, inulina.

## Evaluación del uso de levaduras libres e inmovilizadas en el proceso de fermentación para obtención de hidromiel

Natalia Cano<sup>1</sup>, Leinis León<sup>1</sup>, Johanna Herrera<sup>1</sup>, Yusleivis Torres<sup>1</sup>, Adriana Herrera<sup>1\*</sup>,  
Martha Cuenca-Quicazán<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de investigación: Nanomateriales e Ingeniería de Procesos Asistida por Computador, NIPAC, Programa de ingeniería química, Universidad de Cartagena.

\*Autor de Correspondencia: [aherrerab2@unicartagena.edu.co](mailto:aherrerab2@unicartagena.edu.co)

### Resumen

A partir de la fermentación de miel diluida en agua se obtiene el hidromiel, la cual es una bebida alcohólica tipo vino. El objetivo de esta investigación fue la evaluación del comportamiento de la fermentación alcohólica para obtención de hidromiel a través de la utilización de levadura comercial (*Saccharomyces cerevisiae*) libre e inmovilizada. La levadura libre fue utilizada de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. En el caso de la levadura inmovilizada, la inmovilización se logró usando un soporte preparado *in situ* de alginato de calcio. En ambos casos la temperatura se mantuvo a 25°C y ambas fermentaciones se realizaron de manera simultánea, por triplicado. A lo largo del proceso se evaluó la producción de etanol, consumo de azúcares fermentables, acidez total y pH. El análisis estadístico de los datos mostró que la levadura inmovilizada presentó menor contenido de sólidos solubles (7° Brix), con respecto a la fermentación realizada con levaduras libres (8° Brix); en cuanto a la producción de etanol y el rendimiento del proceso fermentativo se obtuvieron mejores resultados en la utilización de las células inmovilizadas con 18,32% v/v de alcohol y 0,31 gramos de etanol /gramos de glucosa respectivamente. La productividad por su parte presentó un mayor valor en el caso de la levadura inmovilizada. Los resultados encontrados mediante estos ensayos son promisorios para futuros estudios, ya que se espera que la posible reutilización de las levaduras inmovilizadas pueda ser un factor importante a la hora de diseñar un reactor de lecho. Adicionalmente, la inmovilización de células puede ofrecer a futuro otras ventajas tales como reducción del tiempo de fermentación, ahorro en insumos y reducción de los costos de producción.

**Palabras Claves:** hidromiel, alginato de calcio, inmovilización, levadura comercial, fermentación alcohólica, fisicoquímica.

## Evaluación técnico-económica de rutas de proceso para la producción semi-industrial del biopolímero PHB en el IBUN

*Katherine Benavides<sup>1\*</sup>, Mauricio Mongui<sup>1</sup>, Armando Espinosa<sup>1</sup>, Nubia Moreno<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Ingeniería Química, Departamento de Ingeniería química y ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Cra.30#45, Bogotá, Colombia.

<sup>2</sup>Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia IBUN, Universidad Nacional de Colombia, Cra.30#45, Bogotá, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [kbenavidesc@unal.edu.co](mailto:kbenavidesc@unal.edu.co)

### Resumen

El consumo de plásticos sintéticos derivados del petróleo ha aumentado en forma acelerada en las últimas décadas, ubicándose por encima de los 200 millones de toneladas por año, llegando a constituir una de las principales aplicaciones del petróleo. Los plásticos comunes como el polietilentereftalato o el polietileno son los más usados debido a su costo relativamente bajo y sus buenas propiedades fisicoquímicas y de barrera. Lamentablemente, estos materiales tardan muchos años en degradarse y la mayoría de las veces su reciclaje se vuelve complicado y económicamente ineficiente, lo que ha llevado a la acumulación de millones de toneladas de polímeros sintéticos en rellenos sanitarios o inclusive en el océano. Por esta razón, en las últimas décadas ha crecido rápidamente el interés en la comunidad científica por la síntesis de materiales que tengan características fisicoquímicas similares, pero que por su carácter biodegradable no presenten los problemas mencionados. Los biopolímeros, especialmente los polihidroxialcanoatos PHAs tienen un gran potencial para reemplazar a los polímeros sintéticos y el poli (3 hidroxibutirato) o PHB es el PHA más estudiado y caracterizado hasta el momento, ya que, posee propiedades similares a algunos polímeros sintéticos y ausentes en otros biopolímeros como su insolubilidad en agua. Teniendo en cuenta esto, el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional (IBUN) estudió las diferentes rutas de proceso para la extracción y purificación del biopolímero PHB una vez producido por fermentación utilizando Burkholderia cepacia B27. Estas rutas de proceso exploran el uso de solventes no halogenados como alternativa a los solventes tradicionalmente utilizados y comparan su desempeño con el de los procesos que manejan solventes como cloroformo reportados comúnmente en la literatura para este proceso.

Este trabajo tiene como objetivo definir las condiciones de operación óptimas para cada ruta de proceso y realizar la evaluación técnico-económica de cada arreglo teniendo en cuenta los costos de materias primas, mano de obra, servicios y tratamiento de residuos para fermentación, separación y purificación de PHB. Con el uso de la herramienta de simulación *SuperPro Designer*<sup>®</sup> se analizaron las rutas de proceso y se calcularon los costos previamente mencionados, donde se obtuvo que la ruta de proceso más viable económicamente es la ruta que manejan ácido acético como solvente y metanol para la purificación del biopolímero con una reducción del costo por kg de producto de hasta el 79% comparado con la ruta que maneja acetato de butilo como solvente y una reducción de costo de materias primas del 75% comparada con la ruta de proceso que maneja cloroformo. Esta investigación permite concluir que la producción de PHB como reemplazo a los plásticos derivados del petróleo es una opción viable utilizando ácido acético y metanol para el proceso de extracción y purificación, siendo además una alternativa para evitar el uso de solventes halogenados que conllevan un riesgo ambiental y a la salud humana.

**Palabras Clave:** Biopolímero, Burkholderia cepacia, Polihidroxibutirato, Ácido acético, Metanol.

## Fermentación láctica aplicada a preparaciones a base de semillas, verduras y frutas

*Sebastián Camacho<sup>1</sup>, Andrés Castaño<sup>1</sup>, María Martínez<sup>1</sup>, Martha Cuenca Quicazán<sup>1\*</sup>.*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Nanomateriales e Ingeniería de Procesos Asistida por computador NIPAC, Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena.

\*Autor de Correspondencia: [mcuencaq@unicartagena.edu.co](mailto:mcuencaq@unicartagena.edu.co)

### Resumen

El consumo de productos que contengan microorganismos benéficos para la salud, como el yogurt, es una recomendación que dan los médicos y nutricionistas actualmente. Sin embargo, en Colombia el poder adquisitivo de una familia es limitado, por lo cual consumir diariamente este producto puede afectar su presupuesto. Adicionalmente, la digestión de productos con trazas de lactosa se dificulta en personas longevas. Además, tendencias nutricionales como ser vegano o vegetariano hace necesario que se desarrollen productos que estén acorde con los consumidores actuales. Por estas razones, en este trabajo se bus-

ca contribuir a la búsqueda de fuentes alternativas de proteína con alto valor nutricional y bajo costo, entre las cuales podrían encontrarse el alpiste (*Phalaris canariensis*) y la quinua (*Chenopodium quinoa*), las cuales contienen nutrientes como proteínas, minerales, vitaminas, fibra dietaria, antioxidantes e hidratos de carbono, lo cual hace que sean ideales para el crecimiento de microorganismos benéficos para la salud. El objetivo de este trabajo fue evaluar la factibilidad de la fermentación láctica de bebidas a partir de alpiste, quinua y pulpas de hortalizas de la región como lo son el calabacín, ahuyama y zanahoria mediante la implementación de un cultivo láctico comercial para obtener un producto tipo fermentado tipo yogurt con alto valor nutricional. Paralelamente, determinar los parámetros del proceso fermentativo tales como pH y acidez, efecto de la composición de las mezclas de bebidas en la velocidad de la reacción y parámetros como productividad y rendimiento.

En el presente estudio se determinó que, aunque la productividad volumétrica no es tan alta como en el caso de la leche de vaca, que al someterse a fermentación láctica presenta una disminución rápida de pH, de 6,8 a 4,4 en 8h, y un aumento en el contenido de ácido láctico de 0,9% a 1,9% en 4h, es posible llevar a cabo la fermentación de los sustratos estudiados, lográndose reducciones notables en el pH de las bebidas vegetales de alpiste (6,7 a 5,1) y quinua (6,5 a 4,9) así como en algunos de los vegetales como la ahuyama (7,6 a 5,4) y el calabacín criollo (7,1 a 5,0), todos estos en 8 horas, sin embargo, el aumento de ácido láctico en dichos sustratos no fue tan alto como en el caso de la fermentación de leche de vaca. En una segunda etapa, se realizaron mezclas de extracto acuoso de quinua y alpiste con 25, 50 y 75% de pulpas de ahuyama, calabacín y zanahoria, obteniéndose descenso de pH e incremento de acidez titulable similares a los anteriores. También se estableció un diagrama de proceso para la fermentación láctica de bebidas vegetales, que puede ser considerado una aproximación en la definición de un proceso estandarizado, el cual podrá ser mejorado en fases posteriores del estudio.

En conclusión, es factible producir una bebida tipo yogurt a partir de matrices acuosas de semillas como quinua y alpiste, agregando verduras como la zanahoria, calabacín o ahuyama, debido a características propias como pH, es posible obtener un producto con un valor agregado a semillas como el alpiste.

**Palabras Clave:** Fermentación láctica, alpiste, quinua, yogurt.

## Bioconversión de residuos agroindustriales en productos de alto valor agregado a partir de cultivos mixotróficos microalgales

*Astrid Zuleima Acevedo Rodríguez\*, Janet Bibiana García-Martínez, Andrés Fernando Barajas-Solano*  
Grupo de Investigación Ambiente y Vida, Departamento del Medio Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander, Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Barrio Colsag.

\*Autor de Correspondencia: andresfernandobs@ufps.edu.co

### Resumen

La región nortesantandereana se destaca en el sector agrícola por sus cultivos de palma de aceite, café y cacao, el proceso de producción y beneficio de estos frutos genera una serie de subproductos como el glicerol, el mucilago de café y cacao, respectivamente. El glicerol es un subproducto de la producción de biodiesel, cuya principal materia prima es el aceite de palma, el cual es reconocido por su utilización en la industria farmacéutica y cosmética; en el caso de los mucilagos de café y cacao, estos han sido estudiados como fuente de suplemento animal y abono orgánico, en la generación de biocombustibles como bioetanol y biogás, y en la obtención de pectinas y ácido láctico a través de su fermentación. Estos subproductos presentan un bajo costo y los productos que se obtienen a partir de ellos no son de igual o mayor valor que la fuente de la que provienen. Por lo tanto, una opción viable que permita el fortalecimiento de estos subproductos en el mercado es el uso de las microalgas. Las microalgas son microorganismos foto autotróficos que utilizan el dióxido de carbono y la luz como fuente de carbono y energía para su crecimiento, se caracterizan por producir grandes concentraciones de biomasa para la obtención de metabolitos de alto valor agregado para su uso en la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética y de biocombustibles.

En los últimos años se ha evaluado el glicerol como fuente de carbono en la producción de biomasa, ácidos grasos y en la obtención de diversos productos como ácido cítrico a partir del cultivo de microalgas, sin embargo, no se ha profundizado el efecto del mucilago de café y cacao. La presente investigación estudia la capacidad de las microalgas para la bioconversión de estos residuos agroindustriales en productos de alto valor agregado; inicialmente se analizaron las variables de cultivo (e.g. agitación, fuente de carbono, nitratos y fosfatos) que influyen en la eficiencia de producción de biomasa empleando las fuentes

de carbono seleccionadas; seguidamente se procede a diseñar un sistema de extracción eficiente de carotenoides y lípidos totales para cultivos mixotróficos y por último se evalúa la calidad del agua residual procedente del proceso de bioconversión del glicerol crudo. Actualmente, se evalúa el efecto de la primera fuente de carbono a diferentes concentraciones (1%v/v, 2%v/v, 5%v/v, 10%v/v, 15%v/v) y con diversos tipos de microalgas seleccionadas, determinando la cantidad de biomasa generada junto con las concentraciones de nitratos y fosfatos. De acuerdo con los resultados obtenidos, se identificaron las concentraciones óptimas de glicerol (1%v/v, 2%v/v, 5%v/v) para el crecimiento, se evidenció que la microalga pierde la capacidad de degradar el compuesto a concentraciones mayores de 10% por lo que el crecimiento es lento, de igual forma, dentro de todas las microalgas estudiadas se encontró que solo tres de ellas (*Chlorella Vulgaris*, *Scenedesmus sp, A5*), tienen la capacidad de crecer en un medio con esta primera fuente de carbono orgánica, lo cual indica que la utilización del glicerol como fuente de carbono para microalgas es una opción favorable.

**Palabras Clave:** bioconversión, residuo agroindustrial, microalgas, productos de alto valor agregado.

## Bioconversión microalgal de aguas residuales agrícolas en metabolitos de interés

Jessica M. Hernandez\*, Nestor Andrés Urbina-Suarez

Grupo de Investigación Ambiente y vida, Programa o Departamento,  
Universidad Francisco de Paula Santander UFPS, Avenida Gran Colombia No. 12E-96  
Barrio Colsag, San José de Cúcuta – Colombia

\*Autor de Correspondencia: [jessim.hg@hotmail.co](mailto:jessim.hg@hotmail.co)

### Resumen

En la actualidad el uso de cultivos de Microalgas y Cianobacterias han ido tomando mayor relevancia en los procesos industriales y desarrollo de nuevas tecnologías debido a sus diferentes beneficios ambientales y económicos, gracias a su capacidad para incorporar o adsorber diferentes compuestos en su metabolismo desde medios líquidos o gaseosos y transformarlos en productos de interés comercial. Hoy en día se investiga los cultivos de microalgas y cianobacterias no solo desde el punto de vista de producción sino también como una alternativa para mitigar las diferentes problemáticas ambientales y plantear procesos

productivos más sostenibles con el medio ambiente al emplear subproductos o desechos generados en una línea de producción y reincorpóralos nuevamente un nuevo ciclo productivo, respondiendo y contribuyendo de esta manera al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (2015-2030).

Esta investigación evalúa la optimización de la producción de biomasa en dos microalgas y dos cianobacterias a partir de la evaluación de fuentes de carbono inorgánicas como lo son el Carbonato y Bicarbonato de sodio, empleando como medio de cultivo agua residual de piscicultura. De esta forma no solo se genera biomasa que puede ser empleada para otros fines como la elaboración de biofertilizantes, extracción de aceites para diferentes procesos de refinación, obtención de metabolitos de interés industrial, entre otros, sino también se plantea la depuración de aguas residuales del sector de la acuicultura, siendo un sector en crecimiento donde la piscicultura presenta un porcentaje de crecimiento anual del 8,54%. Los resultados obtenidos evidencian que las fuentes de carbono empleadas aumentan la producción de biomasa, siendo las Cianobacterias las de mayor producción empleando Bicarbonato de Sodio como fuente de carbono, obteniendo una producción promedio de 0,9 g/l con concentraciones de Bicarbonato del 0,8 y 1,2 g/l.

**Palabras Clave:** Fuente de Carbono, Agua Residual, Tratamiento, Optimización de biomasa

## Diseño de un sistema de iluminación led para la producción de ficocianinas

*Valentina Sophia Lidueñez Ballesteros<sup>1\*</sup>, Angie Dayana Rodríguez Bohórquez<sup>2</sup>, Andrés Fernando Barajas-Solano<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Ambiente y vida, Universidad Francisco de Paula Santander UFPS, Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Barrio Colsag, San José de Cúcuta – Colombia

\*Autor de Correspondencia: [valentinasophialb@ufps.edu.co](mailto:valentinasophialb@ufps.edu.co)

### Resumen

Las cianobacterias son organismos de gran interés biotecnológico porque tienen la capacidad de producir metabolitos secundarios como ficobiliproteínas de las cuales podemos obtener la ficocianina (C-PC), Aloficocianina (APC) y ficoeritrina (PE), éstas son de gran interés industrial por sus amplias aplicaciones en

diversas áreas como la producción de antibióticos, pigmentos, entre otros. Por esta razón, es de gran importancia desarrollar equipos donde tengan un rápido crecimiento celular y producción de biomasa, estos factores son importantes a la hora de construir y diseñar un fotobiorreactor (FBR), conociendo que existen parámetros que no permiten un desarrollo óptimo de las cianobacterias como lo es la intensidad lumínica, el tipo de luz y el ciclo de luz: oscuridad. Estos son los principales problemas que se presentan al momento de la construcción del FBR debido a que al no presentarse una radiación uniforme de la luz obstruye el aumento de la biomasa; si esta iluminación es mínima puede ser escasa para el proceso de la fotosíntesis por este motivo el crecimiento es lento; mientras que una iluminación elevada da como resultado la fotoinhibición y el estrés oxidativo. Por tal motivo, se desarrollará un fotobiorreactor que permita evaluar las variables críticas mencionadas anteriormente como el efecto que tiene al utilizar diferentes tipos de luz (blanca y roja/azul), además de evaluar la relación de ciclo de luz:oscuridad en este caso fue de 24:0 para la producción de ficocianinas donde se realizaron dos experimentos uno con luz blanca y el otro luces roja/azul donde se obtuvo como resultado una concentración de biomasa (g/L) y una mayor producción de ficocianinas en el montaje de luz LED'S roja/ azul debido a que al ser una honda híbrida se aumenta la producción dado que la longitud de onda azul estimulan la tasa de crecimiento fotosintético (biomasa) y el contenido de metabolitos secundarios, en cambio; la luz roja permite mayor proliferación celular en el cultivo.

**Palabras claves:** Cianobacteria, ficocianinas, fotobiorreactor, intensidad lumínica, tipo de luz, ciclo de luz:oscuridad.

## Diseño de una planta de producción de colorantes a partir de microalgas, abastecido con energía fotovoltaica

Edwar Mauricio Sanchez-Galvis<sup>1\*</sup>, Paolo Moreno-Yañez<sup>2</sup>, Andrés Fernando Barajas-Solano<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación GAIA, Universidad de Santander, Calle 70 N° 55-210, Bucaramanga, Santander

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomas, Carrera 27# #180 - 395, Floridablanca, Santander

<sup>3</sup>Grupo de Investigación Ambiente y vida, Universidad Francisco de Paula Santander UFPS, Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Barrio Colsag, San José de Cúcuta – Colombia

\*Autor de Correspondencia: [mauriciosanchez8711@gmail.com](mailto:mauriciosanchez8711@gmail.com)

### Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo principal diseñar una planta de producción de colorantes a partir de microalgas abastecida con energía solar fotovoltaica, ubicada en Colombia. Inicialmente se planteó la necesidad de identificar la demanda de este tipo de colorantes en el país. Se evaluaron diferentes escenarios posibles para calcular la prefactibilidad de una planta de microalgas a cielo abierto. Existe gran variedad de microalgas, sin embargo, para las condiciones climáticas del país se determinó que la especie *Chrorella vulgaris* se adapta a las condiciones de nuestro país y se cultiva en medios hipersalinos, para esto se identificaron variables de gran importancia para el cultivo de esta especie, como la temperatura ambiente, la irradiancia solar, el área de suelo disponible, cercanía y disponibilidad del agua salada, además de la proximidad a puertos marítimos. Las ciudades que reunieron las condiciones más favorables y que finalmente se evaluaron fueron: Barranquilla, San Marta y Cartagena.

Usando una serie de cálculos apoyados de la hoja de cálculo desarrollada por EnAlgae para el dimensionamiento de plantas de microalgas a cielo abierto, se determinó, la producción de biomasa y  $\beta$ -caroteno, junto con los costos de construcción y producción de la planta. Como componente fundamental del proyecto se buscó generar productos de alto valor para la industria alimenticia y farmacéutica derivados de las microalgas, sin afectar negativamente el medio ambiente a causa de las grandes cantidades de energía requeridas para las diferentes etapas del proceso de cultivo, mezclado y extracción de la biomasa. Los consumos energéticos se calcularon de manera independiente en cada una de las etapas buscando cuál de ellas puede ser apoyada por la generación de

energía solar y así reducir el consumo de energía convencional. Los resultados de los distintos escenarios mostraron a Santa Marta como la ciudad con mejor potencial de producir una mayor cantidad de biomasa con menor consumo de energético, de igual manera se realizaron los cálculos y diseños de una planta de energía solar que suministre electricidad a una o varias etapas de la planta.

Como referencia y antecedente se ha tomado como ejemplo la planta instalada en Islandia de la empresa Algalif, quienes producen microalgas a partir de la energía geotérmica. Ya que el consumo de la planta de energía solar se estima en el mejor de los escenarios en 1 GWh/año, se requiere una gran cantidad de paneles solares, así como gran área para su instalación, algo que fortalece la opción de este tipo de energía alternativa y renovable en el caso de Colombia, debido a que este tipo de planta de igual manera involucra grandes cantidades de terreno para su instalación y adicionalmente la radiación solar es muy favorable en estas regiones al norte de Colombia. La reducción del consumo de energía convencional se justifica en la dependencia actual de la red eléctrica convencional que principalmente utiliza las hidroeléctricas y termoeléctricas para generación de electricidad, las cuales se ven afectadas en temporadas secas o el precio de los combustibles sin contar el impacto ambiental que estas tecnologías energéticas conllevan.

**Palabras Clave:** Bioconversión, Agua Residual, Metabolitos, Tratamiento, Biorefinación.

## Evaluación del potencial de la cascarilla de arroz cultivado en Norte de Santander para la producción de bioetanol

*Jacqueline Corredor, Alejandra Cacua\*, Gabriela Vejar, Daissy Restrepo*

Grupo de Investigación en Ingeniería Química, Programa de Ingeniería Química, Universidad de Pamplona, Km 1 vía Bucaramanga Universidad de Pamplona

\*Autor de Correspondencia: [alejandra.cacua@unipamplona.edu.co](mailto:alejandra.cacua@unipamplona.edu.co)

### Resumen

En la actualidad, la generación de subproductos o residuos agroindustriales presentan una problemática en las diferentes fases de los procesos de producción, debido a que en la mayoría de los casos no son procesados o dispuestos adecuadamente, contribuyendo al deterioro progresivo del medio ambiente y adicionalmente presentándose dificultades desde el punto de vista económico puesto que los costos de recolección, transporte y disposición final son cada vez mayores. Por otra parte, Norte de Santander es un departamento principalmente agrícola, durante el procesamiento de productos son generados diferentes residuos, los cuales por su composición presentan alto potencial para su transformación en productos de valor agregado. Sin embargo, actualmente estos no son empleados en procesos de transformación que conlleven a mejorar el aprovechamiento que se tiene de los subproductos agrícolas de la región. Entre estos residuos se puede encontrar la cascarilla obtenida del proceso de molienda del grano de arroz; por su composición (material lignocelulósico compuesto principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina) la cascarilla de arroz es una materia prima prometedora para la obtención de productos derivados de procesos fermentativos a partir de la glucosa, entre estos productos se pueden encontrar biocombustibles tales como el bioetanol, el cual se ha proyectado como una alternativa prometedora para sustituir el uso de combustibles fósiles.

Hoy en día se han realizado investigaciones con el fin de aprovechar diferentes residuos agroindustriales como materia prima para la obtención de biocombustibles; como es el caso de la producción de biobutanol a partir de cáscara de plátano y suero de leche generados en la región cafetalera, la producción de bioetanol y furfural empleando como materia prima alternativa los residuos de madera (corteza de *Pinus patula*) y residuos de papa, yuca y naranja para la evaluación de la producción de bioetanol. Teniendo en cuenta los estudios realiza-

dos, se plantea en este trabajo, la obtención de bioetanol a partir de la cascarilla de arroz proveniente del departamento de Norte de Santander, por lo cual se llevará a cabo una evaluación experimental compuesta por cinco etapas principales: caracterización de la materia prima, pretratamiento físico-químico, hidrólisis enzimática, fermentación y la separación del bioetanol.

**Palabras clave:** Azúcares reductores, celulosa, fermentación alcohólica, hidrólisis enzimática, material lignocelulósico.

## Efecto de condiciones de operación en la producción de polisacáridos de *amauroderma omphalodes*

Jacobo Gallo-Machado, Luz Deisy Marín-Palacio\*

Departamento de Ingeniería de Procesos, Universidad EAFIT,

Carrera 49 # 7 Sur – 50, Medellín, Antioquia

\*Autor de Correspondencia: [Imarinpa@eafit.edu.co](mailto:Imarinpa@eafit.edu.co)

### Resumen

Los hongos han sido empleados por su valor nutricional y como una amplia fuente para el desarrollo de productos farmacéuticos. Dentro de estos, la familia Ganodermataceae ha sido estudiada para la producción de compuestos bioactivos con actividades biológicas tales como antimicrobiana, antiviral, antitumoral, contra líneas celulares de HeLa, Ehrlich y sarcoma 180 y actividad antioxidante, con valores EC50 de 45-6000 mg/l por DPPH [1], [2], [3]. La producción de estos metabolitos ha sido ampliamente evaluados en *Ganoderma lucidum* en cultivo sumergido variando condiciones de operación como pH con valores de 4 y 5.5, agitación con 100 y 300 rpm y aireación con 0.5 y 2 vvm [4], [5], [6]. *Amauroderma omphalodes* es un basidiomiceto que pertenece a la familia Ganodermataceae y por compartir características taxonómicas propias de esta familia podría ser una fuente de productos naturales con actividad biológica. Sin embargo, para este sistema no se ha encontrado reportes de literatura de producción de biomasa o metabolitos en cultivo sumergido.

El objetivo de este trabajo fue evaluar en biorreactor agitado de 2 l, el efecto de la agitación (100-300 rpm) y aireación (1-2 vvm) sobre la producción de biomasa y exopolisacáridos (EPS) de *A. omphalodes*, así como su actividad biológica. La determinación de biomasa se obtuvo por peso seco, los EPS por el método de

Dubois y la actividad biológica, medida como actividad antioxidante, por la técnica de DPPH.

La mayor producción de biomasa se encontró a 300 rpm y 2 vvm con una concentración de  $9.30 \pm 0.71$  g/l y la mayor producción de EPS (821.39 mg/l) a condiciones de operación de 100 rpm y 2 vvm. La concentración de EPS media máxima efectiva (EC50) con mejor actividad antioxidante por DPPH fue de  $170.23 \pm 4.10$  mg/l (100 rpm y 1 vvm). Estos resultados sugieren que *A. omphalodes* tiene la capacidad de producir polisacáridos con una buena actividad antioxidante al ser comparado con otras especies de la familia Ganodermataceae donde las concentraciones mínimas de EPS que permiten alcanzar el EC50 están alrededor de  $3500 \pm 1000$  mg/l. Por lo que *A. omphalodes* podría tener potencial para la producción de polisacáridos con actividad antioxidante con aplicación en la industria alimenticia o farmacéutica.

**Palabras Clave:** Exopolisacáridos, Amauroderma omphalodes, Cultivo sumergido, Actividad antioxidante.

## Evaluación de la producción de biogás a partir de la digestión anaeróbica de tamo de arroz pre-tratado

Jhessica Mosquera<sup>1</sup>, Diego Rojas<sup>1</sup>, Andres Garcia<sup>1</sup>, Paola Acevedo<sup>1</sup>, Ana Paola Becerra<sup>1</sup>, Ivan Cabeza<sup>\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación INAM-USTA, Facultas de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Carrera 9 No. 51-11, Bogotá D.C, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [ivancabeza@usantotomas.edu.co](mailto:ivancabeza@usantotomas.edu.co)

### Resumen

Los residuos de actividades agroindustriales son susceptibles de ser utilizados en procesos de bio-conversión, que permitan mitigar los impactos ambientales derivados del manejo y disposición inapropiada de los mismos. Colombia como tercer productor de arroz paddy en América Latina requiere del mejoramiento de su proceso productivo para aumentar la rentabilidad y mejorar su desempeño ambiental. Entre las prácticas actuales para la disposición de residuos de la post-cosecha se encuentra la quema y la descomposición a cielo abierto. De tal manera, buscando aprovechar esta biomasa, el presente trabajo evalúa diferentes alternativas de pretratamiento del tamo de arroz proveniente del Departam-

mento de Tolima, dirigidas para mejorar rendimientos obtenidos en procesos de digestión anaerobia para producción de biogás. Se evaluaron pretratamientos de orden químico (hidrólisis ácida) y físico (hidrólisis térmica), con el objetivo de mejorar el potencial de degradación del tamo. La evaluación de los pretratamientos se estableció a partir de la caracterización inicial del sustrato, donde la carga orgánica se varió entre 10 y 20 gSV, para una relación sustrato inóculo de 3. El proceso de digestión anaerobia se llevó a cabo en reactores tipo batch bajo condiciones mesofílicas, cada pretratamiento fue evaluado por triplicado, incluyendo un ensayo sin ningún pretratamiento. Los resultados obtenidos muestran que la hidrólisis térmica incrementa la producción de biogás en un 116% en comparación con los ensayos sin tratamiento y con tratamiento alcalino, con este pretratamiento, la producción más alta de biogás fue de 164.10mLCH<sub>4</sub>/gSV, para una carga orgánica de 10gSV.

**Palabras Clave:** Biogás, potencial de biometanization, biomasa lignocelulósica.

## Inmovilización de enzimas endoxilanasas sobre nanopartículas magnéticas para la producción de xilo- oligosacáridos

Rolando Acosta-Fernández<sup>1</sup>, Debora Nabarlatz<sup>1\*</sup>, Johann F. Osma<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INTERFASE. Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Carrera 27 N° 9, Bucaramanga, Colombia.

<sup>2</sup>CMUA, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad de los Andes, Cra 1 E No. 19 A-40, Bogotá, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [dnabarla@uis.edu.co](mailto:dnabarla@uis.edu.co)

### Resumen

Los xilo-oligosacáridos (XOs) son oligómeros formados por 2 a 20 unidades de xilosa, los cuales tienen características prebióticas que promueven el crecimiento selectivo de la microbiota intestinal, generando beneficios a la salud del huésped [1]. Los XOs pueden ser obtenidos de materiales lignocelulósicos con alto contenido de hemicelulosa (xilano) mediante tratamientos térmicos y enzimáticos. Para poder obtener XOs con adecuada distribución de peso molecular y bajo contenido de impurezas es necesaria la despolimerización selectiva del xilano, donde las enzimas endoxilanasas permiten catalizar los enlaces  $\beta$ -1,4 presentes en el mismo. A pesar de las ventajas del uso de enzimas, sus aplicaciones industriales son limitadas por su vida útil, baja recuperación y reusabilidad [2]. Por tal motivo, en el presente trabajo se inmovilizaron enzimas endo-1,4- $\beta$ -xilanasas sobre nanopartículas magnéticas ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), para luego ser evaluadas en la despolimerización de xilano, analizando su estabilidad térmica, estabilidad a cambios de pH y ciclos de reutilización. Posteriormente a la inmovilización, fue posible recuperar aproximadamente el 50% de la actividad enzimática inicial, evidenciando mejoras en la estabilidad con respecto a los cambios en temperatura y pH superior al 8 y 10% relativo, respectivamente. Finalmente, las enzimas inmovilizadas mantuvieron un 45% de su actividad enzimática luego de 9 ciclos de reutilización. Los resultados de este trabajo demuestran los beneficios de la inmovilización de enzimas para su uso en procesos de obtención de XOs.

**Palabras Clave:** xilooligosacáridos, nanopartículas, hidrólisis enzimática, enzimas inmovilizadas.

## Producción de ácidos grasos volátiles a partir de la fermentación anaerobia de lodos de plantas de aguas residuales

Jeniffer Gracia<sup>1,2\*</sup>, Jhessica Mosquera<sup>3</sup>, Carlos Montenegro<sup>1</sup>, Paola Acevedo<sup>2,3</sup>, Ivan Cabeza<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación GILRA, Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", Carrera 7 No. 40B-53, Bogotá, Colombia

<sup>2</sup>Grupo de Investigación INGENIO INDUSPYMES, Facultad de ingeniería industrial, Universidad Cooperativa de Colombia, Avenida Caracas 37-63, Bogotá, Colombia

<sup>3</sup>Universidad Santo Tomás, Facultad de ingeniería Ambiental, Carrera 9 No. 51-11, Bogotá, Colombia

<sup>4</sup>Grupo de Investigación FICB-PG, Facultad de Ingeniería, Politécnico Gran Colombiano, Calle 57 No. 3-00 Este, Bogotá, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [jpgarcia@correo.udistrital.edu.co](mailto:jpgarcia@correo.udistrital.edu.co)

### Resumen

Los procesos bioquímicos de conversión de corrientes residuales se han consolidado como una oportunidad para la generación de nuevos productos de base biológica, que favorezcan el desempeño ambiental de las industrias y generen beneficios económicos. Los lodos de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) son una corriente residual abundante en el país, estos pueden ser aprovechados en procesos como la producción de ácidos grasos volátiles (AGVs) para la síntesis de biopolímeros. Consecuentemente, el objetivo de este trabajo fue determinar las condiciones operativas bajo las cuales se logran altos rendimientos en la producción de AGVs, desde la fermentación anaeróbica de lodos de la PTAR – El Salitre. Para lo cual, se realizó un diseño experimental donde se evaluaron diferentes condiciones operativas, se tomaron como variables independientes: la carga orgánica (6gSV/L y 4gSV/L) y pH (9, 10 y 11). Los experimentos se llevaron a cabo bajo condiciones mesofílicas (35±2°C), se evaluaron 12 réplicas monitoreadas por destrucción cada 3 días (12 días como tiempo total de reacción), donde la composición del gas fue medida utilizando el BIOGAS 5000® Landtec y para las muestras recolectadas se cuantifico el pH, AGVs (mg DQO/L), Alcalinidad (mg CaCO<sub>3</sub>/L) y DQO (mg/L). Los mejores rendimientos se alcanzaron con una carga orgánica de 6gSV y pH de 10.5 con una producción de 1600 mg DQO/L para el día 12 logrando una total inhibición de organismos metanogénicos.

**Palabras Clave:** ácidos grasos volátiles, fermentación anaeróbica, tratamiento de lodos

## Extracción de compuestos bioactivos de *curcubita maxima*, *curcubita mixta* y *curcubita pepo* aplicando tratamientos de liofilización y ultrasonido

Sierra P, María A<sup>1</sup>. Salazar G, Luisa V. Tarazona, Martha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ingeniería de Alimentos, Ciencias Naturales e Ingeniería,  
Universidad Jorge Tadeo Lozano, Carrera 4 N° 22-61.

\*Autor de Correspondencia: mariaa.sierrap@utadeo.edu.co

### Resumen

Este trabajo expone la cuantificación de compuestos bioactivos en 3 especies de la familia Cucurbitáceas (*Cucurbita maxima*, *Cucurbita pepo* y *Cucurbita mixta*), cuya valoración se dio en las 3 partes que componen cada especie (semillas, pulpa y corteza) en estado fresco, liofilizado y con ultrasonido en los dos casos anteriores. El fundamento de este proyecto es identificar el tratamiento que aumenta la extracción de los compuestos bioactivos en primera instancia, dándole protagonismo a especies que no son comúnmente estudiadas y generando un aprovechamiento de lo que se desecha generalmente (semillas y corteza). La segunda parte de este propone aislar la L- Citrulina, aminoácido empleado para sintetizar arginina (precursor del óxido nítrico) con el objetivo de escalarlo industrialmente e incorporarlo en un alimento funcional que contraresta problemas de salud.

La cuantificación se realizó en términos de capacidad antioxidante y polifenoles, para los primeros se emplearon los métodos espectrofotométricos DPPH, FRAP y ácido ascórbico, para los segundos Folin-Ciocalteu. El primero consiste en la generación de un radical libre por aceptación de un hidrógeno en la molécula captadora cambiando la coloración a amarilla [1]. El segundo se basa en la reducción del ion férrico a ion ferroso presentando una coloración azul [2]. El tercero evalúa el contenido de vitamina C por medio de un método colorimétrico con 2-nitroanilina formando una sal sódica de color violeta [3] y el último la cantidad de compuestos fenólicos, por medio de la reacción con el reactivo de Folin donde se reduce el ácido fosfomolibdotúngstico generando una coloración azul [4].

El criterio empleado para definir la tendencia de los resultados se basó en identificar la especie con mejor rendimiento por tratamiento y método, desde que los valores fueran superiores en 2 de las 3 partes de cada especie en comparación a

las demás. De acuerdo a esto el tratamiento que reportó mayores concentraciones fue el de liofilizado siendo este destacado en 3 de los 4 métodos aplicados (Folin, Frap, DPPH). La *C. peppe* sobresale en DPPH y Folin por sus altos resultados, para el primero se obtuvieron concentraciones de 1029 y 1455, para el segundo de 3110 y 2730  $\mu\text{mol}$  de trolox/ 100 g de muestra para la corteza y pulpa, respectivamente. En FRAP se destacó una parte de cada especie, en la *C. peppe* fue la corteza con 1170  $\mu\text{mol}$  de ácido gálico/100 g de muestra, en la *C. maxima* fue la pulpa con 853  $\mu\text{mol}$  de trolox/100 g de muestra y en la *C. mixta* 1341  $\mu\text{mol}$  de trolox/100 g de muestra. Por otra parte, en vitamina C la mejor cuantificación fue la de frescos con ultrasonido, donde la *C. mixta* reportó 6, 12 y 479 mg de ácido ascórbico/100 g muestra sólida para la corteza, pulpa y semilla, respectivamente.

Finalmente, podemos concluir que las especies tratadas tienen un contenido importante en antioxidantes y polifenoles, especialmente en la semilla de cada una de las especies donde podemos encontrar concentraciones que oscilan desde 100 a 1500  $\mu\text{mol}$  de trolox/100 g de muestra, generando un resultado importante en compuestos bioactivos por lo que podrían ser empleadas en el desarrollo de nuevos productos alimenticios.

**Palabras Clave:** *C. mixta*, *C. peppe*, *C. maxima*, capacidad antioxidante, polifenoles.

## Referencias

- W. C. M. E. & B. C. Brand-Williams, «Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity,» LWT-Food science and Technology, vol. 1, n° 28, pp. 25-30, 1995.
- I. F. & S. J. J. Benzie, «The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay,» Analytical biochemistry, vol. 1, n° 239, pp. 70-76, 1996.
- P. M. Vargas, «Evaluación de las características nutricionales y microbiológicas de la papaya (*Carica papaya* L.) deshidratada con la levadura *Candida guilliermondii*,» 2011. [En línea]. Available: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/11792>.
- V. L. O. R. & L.-R. R. M. Singleton, « Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent.,» In Methods in enzymology, vol. 299, pp. 152-178, 1999.

## Hidrólisis enzimática de bagazo de caña de azúcar para la producción de jarabes glucosados

Sebastián Jiménez<sup>1</sup>, Juan Acosta, Kelly Betancur<sup>1</sup>, Angela Ruíz-Colorado<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación "Bioprocesos y Flujos Reactivos, BIOFRUN", Departamento de Procesos y energía, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Car. 80 No. 65-223 M3-119-6, Medellín, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: dsjimenezv@unal.edu.co

### Resumen

Para el 2050 el 70% de la población vivirá en ciudades y la concentración de residuos agroindustriales se incrementará (más de 1.500 millones de toneladas anuales). Es necesario pensar en una nueva manera de consumir y producir compuestos de primera necesidad, en una economía circular, como una posible solución a la generación de residuos. La FAO (Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación) propone la innovación agrícola como elemento clave para la transformación radical de los sistemas alimentarios, para brindar oportunidades de negocio y empleos, y para impulsar el desarrollo económico del país. En esta investigación, se aborda la oportunidad de producir jarabes glucosados a partir del bagazo de caña de azúcar, el cual fue caracterizado para identificar su composición, posteriormente fue pretratado con agua líquida caliente a condiciones de temperatura 50°C, porcentaje de sólidos del 10% y tiempo de reacción de 15 minutos. Con esto, se realizó la cinética de la hidrólisis enzimática del material con una enzima celulasa comercial (EC 3.2.1.4). Finalmente se estableció un modelo semifísico de base fenomenológica para representar el proceso de hidrólisis enzimática y para ajustar los datos experimentales obtenidos. El bagazo de caña de azúcar resultó compuesto principalmente 22,6% de celulosa, 13,39% de hemicelulosa y 23,71% de lignina. La actividad enzimática de la celulasa logró verificarse, obteniéndose un valor de 96 FPU/mL. De acuerdo con los resultados anteriores, la cinética de la hidrólisis enzimática del material pretratado resultó con concentraciones de glucosa de 1,52 g/L en 72 horas y de 0,28 g/L de celobiosa durante la primera hora de la cinética. La caracterización del bagazo de caña de azúcar y la verificación de la actividad enzimática de la enzima celulasa, brindan la posibilidad de realizar, modelar y optimizar el proceso de hidrólisis enzimática, con el fin de incrementar la concentración de glucosa en los jarabes, adecuándose a las nuevas políticas de la FAO, de la economía circular y del desarrollo sostenible.

**Palabras Clave:** Hidrólisis enzimática, bagazo de caña de azúcar, pretratamiento hidrotérmico, modelo cinético

## **Saccharomyces cerevisiae aislada en Colombia para la producción de alcoholes a partir de xilosa**

Margareth Patiño<sup>1,2\*</sup>, Diego Romero<sup>2</sup>, Nicolás Puentes<sup>2</sup>, Boris U. Stambuk<sup>3</sup>, Mario Velásquez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Procesos Químicos y Bioquímicos, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

<sup>3</sup>Laboratório de Biologia Molecular e Biotecnologia de Leveduras, Departamento de Bioquímica, Universidad Federal de Santa Catarina, Brasil

\*Autor de Correspondencia: [mapatinol@unal.edu.co](mailto:mapatinol@unal.edu.co)

### **Resumen**

La biomasa lignocelulósica, presente en la madera y residuos agrícolas, es la materia prima vegetal más abundante en el mundo. Compuesta por dos polímeros de carbohidratos y un polímero aromático (lignina), tiene potencial para la obtención de biocombustibles como el etanol y otros productos químicos básicos o de alto valor agregado como el xilitol. *Saccharomyces cerevisiae*, utilizada en la fabricación de la cerveza, pan y vino, es la levadura más utilizada en procesos industriales debido a su capacidad de fermentar principalmente monosacáridos como la glucosa, la fructosa y la manosa, disacáridos como maltosa y sacarosa, y trisacáridos como maltotriosa y rafinosa. Sin embargo, *S. cerevisiae* ha sido considerada incapaz de fermentar azúcares como la xilosa, aldopentosa cuya utilización se ha considerado crítica en la producción de etanol de segunda generación. Utilizando ingeniería genética, metabólica y evolutiva de levaduras se han obtenido linajes modificadas de *S. cerevisiae* que consumen la xilosa, pero no de forma eficiente. El grupo de investigación en Procesos Químicos y Bioquímicos de la Universidad Nacional de Colombia realizó el aislamiento de algunas levaduras obtenidas en el municipio de Puerto López (Meta- Colombia) entre las cuáles se identificó una cepa de *S. cerevisiae* denominada como 202-3 y se estableció su perfil fenotípico en xilosa. A través de secuenciación de la región *ITS*, determinación de *mating*, amplificación de genes para metabolización de xilosa, amplificación por PCR de única banda de producto usando iniciadores específicos para la especie y crecimientos en medios sólidos y líquidos YNB, YPX, y Verduyn usando como fuente de carbono diferentes concentraciones de xilosa y de glucosa – xilosa, observamos que esta cepa consume xilosa y produce

xilitol. Inclusive en algunas condiciones de cultivo se ha detectado producción de etanol. En hidrolizados lignocelulósicos ha mostrado un consumo de xilosa de aproximadamente 4 %. En fermentaciones en glucosa como única fuente de carbono, hemos obtenido una producción de etanol con un rendimiento de 0,49 g/g cercano al teórico de 0,51 g/g. Estos resultados nos indican que esta levadura podría ser utilizada en procesos industriales para la producción de etanol de primera generación, podría ser utilizada en la producción de xilitol, y ha sido una candidata para la realización de modificaciones genéticas con el fin de mejorar su capacidad de consumir xilosa y producir etanol de segunda generación.

**Palabras Clave:** Biomasa lignocelulósica, Xilosa, Xilitol, Etanol, *Saccharomyces cerevisiae*.

## Estudio de las condiciones del pretratamiento alcalino de cáscara de cacao en la producción de azúcares fermentables

*Fernando Díaz-Acosta<sup>1</sup>, Juliana Ávila-Ortiz<sup>1</sup>, Laura Plazas-Tovar<sup>2</sup>, Viviana Sánchez-Torres<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICTA), Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander · UIS/Sede Guatiguará.

<sup>2</sup>Laboratório de Catálise e Química Verde (LabCQV), Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas, Universidade Federal de São Paulo · UNIFESP/Campus Diadema.

\*Autor de correspondencia: [fernando.diaz1@correo.uis.edu.co](mailto:fernando.diaz1@correo.uis.edu.co)

### Resumen

Las biomásas lignocelulósicas se componen principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa en forma de fibrillas fuertemente entretejidas, dicha estructura limita los procesos de bioconversión haciendo necesaria la aplicación de pre-tratamientos que degraden la lignina, reduzcan la cristalinidad de la celulosa e incrementen la porosidad. Las cáscaras de cacao (CC) son el principal residuo lignocelulósico en el procesamiento del cacao y constituyen entre el 67-76% del peso total del fruto. En la actualidad se generan problemas ambientales en algunos países a causa de su quema o descomposición al aire libre. Sin embargo, debido a su alto contenido de carbohidratos (29.04-32.3%p/p) y elevada disponibilidad, se convierten en una potencial fuente de azúcares. Aunque la cantidad de estudios dirigidos a pretratar CC son limitados, demuestran la eficacia de sustancias como H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y NaOH en la remoción de lignina. En la presente

investigación se determinaron las mejores condiciones para el pretratamiento alcalino de cáscara de cacao en la producción de azúcares fermentables mediante hidrólisis enzimática. Se caracterizó la biomasa inicial utilizando las metodologías propuestas por NREL. La caracterización reveló que el contenido de carbohidratos, lignina, cenizas y extractivos (orgánicos y acuosos) de la cáscara es de 26.87%, 18.74%, 6.38% y 48.01%, respectivamente. Se realizó un diseño de superficie de respuesta con tres factores; concentración de NaOH (0.55-2 %g/ml); porcentaje de sólidos (14-22 %g/ml) y temperatura (50-100 °C), teniendo como respuesta el porcentaje de degradación de lignina. Las condiciones del punto óptimo encontradas previamente se utilizarán para acondicionar la materia prima de la hidrólisis enzimática. En esta última fase se realizará un diseño de superficie de respuesta con dos factores, la carga enzimática y el porcentaje de sólidos; la variable dependiente será la cantidad de azúcares fermentables. Finalmente se evidenció un alto grado de remoción de lignina,  $81.35 \pm 0.3\%$ , siendo este el mejor pretratamiento realizado.

**Palabras Clave:** carbohidratos, cacao, residuos lignocelulósicos, pretratamiento alcalino, hidrólisis enzimática

## Producción de biosurfactantes de *lactobacillus* empleando hidrolizados de cáscaras de cacao como fuente de carbono

*María Angélica Angarita Rangel<sup>1</sup>, Laura Plazas Tovar<sup>2</sup>, Viviana Sánchez Torres<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos – CICTA, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander - UIS, Cra 27 No. 9, Bucaramanga, Santander

<sup>2</sup> Catalysis and Green Chemistry Laboratory – LabCQV, Department of Chemical Engineering, Federal University of São Paulo - UNIFESP, Brazil, Campus Diadema.

\*Autor de Correspondencia: [visantor@uis.edu.co](mailto:visantor@uis.edu.co)

### Resumen

Las cáscaras de cacao en Colombia se han convertido en un problema de contaminación ya que son separadas del grano y arrojadas junto a los cultivos sin tratamiento, durante el proceso del "Beneficio del cacao". La forma cóncava de las cáscaras sirve como reservorio de aguas lluvias contribuyendo en la proliferación de insectos y plagas, y en el peor de los casos estas son incineradas. Como estrategia de valorización, este estudio busca utilizar los azúcares fermentables

extraídos de las cáscaras de cacao como fuente de carbono para *Lactobacillus* en la producción de biosurfactantes.

Los biosurfactantes son compuestos anfífilos producidos por microorganismos, que reducen la tensión superficial e interfacial. Se encuentran dentro de un amplio grupo de estructuras químicas como glicolípidos y lipopéptidos con potenciales aplicaciones en la remediación de suelos y aguas contaminadas con crudo, la producción de detergentes, fármacos, cosméticos y alimentos, entre otros.

Los *Lactobacillus* son microorganismos no patógenos ampliamente utilizados en la producción de alimentos y estudiados como protectores ante patologías humanas por la producción de biomoléculas como resultado de sus funciones metabólicas. Suelen ser cultivados en el medio complejo Man, Rogosa y Sharpe (MRS) limitando la producción de biosurfactante y su escalamiento a nivel industrial, por los elevados costos del medio de cultivo y la elección de la fuente de carbono específica.

Hasta el día de hoy se ha reportado la producción de biosurfactantes de *Lactobacillus* estables a cambios de temperatura y pH, con propiedades antimicrobianas y antioxidantes. Se ha evaluado el uso de hidrolizados o fermentados de material lignocelulósico (poda de viñedo, cebada de maíz y eucalipto) y el uso de MRS con otras fuentes de carbono (lactosa y aceite de parafina entre otras). El cambio de la fuente de carbono en una misma cepa de *Lactobacillus* permitió producir biosurfactantes con diferente estructura química (glucolipopéptido y glicoproteína). Queda por evaluar el uso de hidrolizados de cáscara de cacao como fuente de carbono y el tipo de biosurfactante producido por las cepas *L.casei* y *L.rhamnosus* con esta nueva fuente de carbono. Las cáscaras de cacao no han sido exploradas en el tema siendo de gran importancia para el país por tratarse de materia nacional.

El objetivo de este estudio es formular un medio de cultivo basado en hidrolizados de cáscara de cacao para la producción de biosurfactantes de *Lactobacillus*. Mediante un diseño de experimentos se evaluarán los requerimientos de glucosa y fuentes de nitrógeno (levadura y nitrógeno) comercial. Una vez definida la

mejor formulación para el medio de cultivo, la glucosa comercial será cambiada por hidrolizados (ácido y enzimático) de cáscara de cacao.

La mayor actividad surfactante evaluada mediante pruebas de índice de emulsificación (%E<sub>24</sub>), en alícuotas del medio de cultivo MRS fue de 51,72% y 35,71% para *L.casei* y *L.rhamnosus*, representando un cambio respecto al control de 20,69% y 18,47% respectivamente. Estos resultados arrojan indicios de la presencia de biosurfactante como metabolitos extracelulares asociados al crecimiento. Una vez purificados, se evaluará la actividad antioxidante de los biosurfactantes por pruebas de inhibición de radicales DPPH.

**Palabras Clave:** Biosurfactante, *Lactobacillus*, cáscara de cacao.

## Diseño y ensamblaje de una biofábrica bacteriana para la expresión heteróloga de naringenina

Laura Estefanía Parra Daza<sup>1</sup>, Lina Suárez Medina<sup>1</sup>, Albert Enrique Tafur Rangel<sup>1-3</sup>, Miguel Ángel Fernández Niño<sup>1</sup>, Silvia Restrepo<sup>2</sup>, Hector Hugo Olarte<sup>4</sup>, Andrés González Barrios<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Diseño de Productos y Procesos, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

<sup>3</sup>Grupo de Investigación CINBIOS, Departamento de Microbiología, Valledupar. Colombia.

<sup>4</sup>Casa Luker, Bogotá, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [andgonza@uniandes.edu.co](mailto:andgonza@uniandes.edu.co)

### Resumen

En diferentes estudios se ha reportado la naringenina como uno de los flavonoides más relevantes. La naringenina es el principal intermediario en la biosíntesis de flavonoides y en diferentes estudios se ha demostrado que es un potencial candidato para el tratamiento de enfermedades como la diabetes, obesidad, hiperlexia, entre otros. Debido a su alto valor en el mercado, recientemente se han desarrollado diversos esfuerzos con el objetivo de lograr su producción a escala industrial siguiendo dos metodologías generales: primero, mediante síntesis química y segundo a través de la extracción de la planta. Ambos métodos coinciden en la implementación de solventes y sustancias químicas peligrosas y tóxicas que pueden afectar la salud humana, y además representar estrategias tradicionales poco competitivas en términos costo-beneficio en comparación con otras tecnologías actuales. En los últimos años, el diseño e ingeniería de

microorganismos ha sido implementado como una alternativa para la expresión de un gran número de productos de interés.

El presente proyecto buscó implementar herramientas *in silico* (i.e modelación de redes metabólicas) e *in vitro* (i.e ingeniería metabólica y biología sintética) para la predicción, evaluación y producción heteróloga de naringenina en *Escherichia coli*. Para llevar a cabo la parte *in silico*, se implementó el método de optimización OptStoic-minRxn/minRxn, el cual permitió predecir la ruta más corta para la producción de naringenina a partir del aminoácido L-tirosina; posteriormente, se realizó un análisis de balance de flujo (FBA) para evaluar la factibilidad termodinámica de dicha ruta. En la parte *in vitro* se implementó la configuración monocistrónica de la metodología ePathBrick para la construcción de una ruta artificial para la expresión heteróloga de naringenina en *E. coli* basado en los datos de modelación *in silico*.

Nuestros datos permitieron identificar una ruta corta para la producción de naringenina, en la cual intervienen cuatro enzimas (PAL, 4CL, CHS y CHI). Los datos de FBA resultaron en una producción de 0.12 mmmol/ gDW h de naringenina con un flujo de biomasa de 0.86 mmmol/ gDW h. Cada uno de los genes escogidos para la expresión heteróloga de la ruta artificial de producción de naringenina fue diseñado y mandado a sintetizar en la empresa ShineGene; para llevar a cabo la construcción de los plásmidos, se seleccionaron los vectores pETM6 y pRSM3, con resistencia a ampicilina y kanamicina, respectivamente. Finalmente, se dejó fermentar por 34 horas para validar la expresión heteróloga de naringenina. En conclusión, se logró implementar herramientas *in silico* e *in vitro* para evaluar y expresar naringenina en *Escherichia coli*.

**Palabras Clave:** naringenina, *Escherichia coli*, expresión heteróloga, ePathBrick.

## Descifrando la bioquímica de la fermentación del cacao mediante el uso de herramientas alimentomicas

Fernández-Niño Miguel<sup>1</sup>, Cala Mónica<sup>2</sup>, Herrera Fabio<sup>1</sup>, Chica María<sup>3</sup>, Aguirre Jenny<sup>3</sup>, González Barrios, A<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Grupo de Diseño de Productos y Procesos. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos - Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.

<sup>2</sup> MetCore - Metabolomics Core Facility. Vice-Presidency for Research. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.

<sup>3</sup> Casa Luker S.A. Colombia.

\*Autor de correspondencia: andgonza@uniandes.edu.co

### Resumen

El consumo de cacao ha incrementado mundialmente en respuesta a su uso como un ingrediente esencial en diferentes productos alimenticios y nutraceúticos. Su mercado actual se encuentra segmentado en cacao de consumo ordinario (95% de la producción mundial) y cacao fino de aroma (el restante 5%). Interesantemente, el 95% de la producción colombiana de cacao ha sido reconocida como fina de aroma y se espera que su producción alcance las 246000 toneladas en 2021. Dicho cacao ofrece un nuevo rango de sabores y aromas frutales y florales resultando en un precio privilegiado. Estudios recientes han resaltado la relevancia del proceso de fermentación del cacao en la producción de compuesto precursores de aroma y de sabor afectando así la calidad del producto final. No obstante, muy poco se sabe con relación a los diferentes procesos bioquímicos y microbiológicos que resultan en la producción de dichos compuestos. Nuestro conocimiento actual respecto a la bioquímica de la fermentación en fermentaciones tradicionales de cacao fino de aroma es muy limitado y mucha más investigación es requerida. En ese sentido, nuestro estudio pretendió explotar el potencial de las herramientas alimentomicas para mejorar nuestro entendimiento del proceso de fermentación del cacao fino de aroma. Un acercamiento multiplataforma (metabolómica y lipidómica) fue aplicado a muestras colectadas de fermentaciones en cajones de madera previamente estandarizadas en una granja de producción tradicional perteneciente a la compañía Casa Luker (Caldas, Colombia). Muestras por triplicado fueron colectadas cada 24 horas durante fermentaciones espontaneas de una mezcla de clones representativos. Un total de 27 muestras fueron analizadas por GC-QTOF-MS y

LC\_QTOF:MS, seguido de alineamiento de datos y filtración. Las variaciones en los perfiles de metabolitos y de lípidos durante cada uno de los días de la fermentación fueron determinadas mediante análisis univariable (UVA) y multivariable (MVA). La identificación putativa de metabolitos fue realizada mediante la herramienta CEU Mass Mediator. Nuestros resultados de análisis de componentes principales revelan una separación entre grupos significativa con relación a la variación en los compuestos identificados. Nuestros resultados permitieron determinar grupos de compuestos mostrando variación significativa a lo largo de cada uno de los días de la fermentación incluyendo ácidos fenólicos, alcoholes, aminoácidos, flavonoides, ácidos grasos, glicerosfolípidos y azúcares. Nuestros datos son cruciales para mejorar nuestro entendimiento de la bioquímica y las diferencias metabólicas presentes durante procesos de fermentación tradicional de cacao fino de aroma. El uso de estas herramientas de alimentómica ofrece una oportunidad no solo para mejorar nuestro entendimiento sino desarrollar estrategias encaminadas a mejorar la calidad sensorial del chocolate.

## Influencia de la reacción de maillard en la capacidad antioxidante de hidrolizados de lactosuero entero

*Suarez Andrés<sup>1</sup>, Herrera Fabio<sup>1</sup>, Morales Jesús<sup>1</sup>, González Barrios, A<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup> Grupo de Diseño de Productos y Procesos. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos - Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.

\*Autor de correspondencia: [af.suarez@uniandes.edu.co](mailto:af.suarez@uniandes.edu.co)

### Resumen

El desarrollo de compuestos antioxidantes a partir de fuentes naturales ha generado interés en la industria alimentaria moderna debido a su capacidad para preservar los alimentos y reemplazar los antioxidantes sintéticos utilizados en esta industria. El objetivo del presente estudio fue medir la generación de Productos Reactivos de Maillard (PRM) durante la hidrólisis enzimática de lactosuero entero y su influencia en la capacidad antioxidante de los hidrolizados. La hidrólisis enzimática de lactosuero entero se llevó a cabo con Alcalasa y Flavourzyme a distintas condiciones de pH (5.5, 7.0 y 8.5), temperatura (42, 50 y 58 °C), relación enzima sustrato (1, 2 y 3%) y tiempo de hidrólisis (60, 180 y 300 min). A los hidrolizados se les realizaron pruebas para la detección de PRMs intermedios y avanzados, capacidad de reducción férrica y contenido de grupos Sulfhidrilos (SH). Los datos para ambas enzimas mostraron la generación de PRMs intermedios y avanza-

dos, sumado a un descenso en el contenido de grupos SH, sugiriendo esto su participación en reacciones de Maillard, dada su habilidad para reaccionar con grupos carbonilos. Además, los resultados sugieren una mayor generación de PRMs avanzados cuando las condiciones de hidrolisis están en su nivel más alto (pH 8.5, 58°C, relación enzima sustrato 3%, y 300 min). Así mismo, el pH es la condición que más afecta la generación de PRMs y la capacidad de reducción férrica de los hidrolizados. Los resultados de este estudio sugieren distintas rutas para el desarrollo de antioxidantes a para la industria alimentaria, utilizando subproductos tales como el lactosuero.

## Analizando la fermentación de los granos de cacao a través del análisis metagenómico

*María Juliana Rodríguez Cubillos M.J.<sup>1,3</sup>, Hugo Olarte<sup>4</sup>, María José Chica<sup>4</sup>, Patricia del Portillo<sup>2</sup>, Martha Cepeda<sup>3</sup>, Juan Manuel Anzola<sup>2</sup>, Silvia Restrepo<sup>3</sup>, Miguel Ángel Fernández<sup>1</sup>, Andrés González Barrios<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup>Grupo de diseño de productos y procesos (GDPP). Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.

<sup>2</sup>Laboratorio de Micología y Fitopatología (LAMFU). Facultad de Ciencias. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.

<sup>3</sup>Corporación Corpogen. Bogotá, Colombia

<sup>4</sup>Casa Luker S.A. Colombia

\*Autor de correspondencia: andgonza@uniandes.edu.co

### Resumen

El cultivo de cacao en Colombia durante los últimos años ha sido relevante como estrategia de crecimiento económico del país. La premiación de cacao producido en nuestro territorio debido a su calidad de fino de aroma hace que sea apetecido en los mercados de diferentes partes del mundo. No obstante, este proceso continúa realizándose sin el conocimiento completo de las variables que afectan la producción de sabores y olores específicos en la fermentación y el secado del cacao. La caracterización de las variables que afectan este cultivo es crucial para potenciar su productividad y para el posicionamiento del producto dentro de este selecto grupo. Una de las variables relevantes a considerar, son los microorganismos asociados a los procesos de fermentación, momento en el que se adquieren la mayoría de las propiedades organolépticas y colorimétricas del chocolate.

A la fecha, se han identificado los principales grupos de bacterias y hongos presentes en el proceso de la fermentación, sin embargo, no se ha hecho la descripción por especies de los organismos asociados para cada uno de los días en los que este proceso se lleva a cabo. Es por esto que, en el presente trabajo realizamos la primera identificación de los microorganismos involucrados por días en el proceso de fermentación del cacao una granja de producción de chocolate en Caldas. Adicionalmente, y gracias a la identificación realizada, se procede a construir el primer modelo metabólico a escala genómica que describe el proceso de fermentación del cacao desde el modelo de comunidad de los microorganismos involucrados en el proceso.

La identificación realizada por medio del software EzTaxon, permitió identificar que las especies dominantes dentro del proceso son *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus fermentum*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Acetobacter aceti*, *Fructobacillus pseudofilcunus*, *Halomonas stevensii*. No obstante, se describe la presencia de especies que no habían sido reportadas dentro del proceso de fermentación como lo son *Pestalotiposis rhododendri*, *Lactobacillus vini* y se resalta la importante representación de bacterias de la familia Enterobacteriaceae. Adicionalmente, se realiza un trabajo comparativo entre granjas para contrastar la diversidad presente en cada una de ellas.

Finalmente, el modelo fue producido a partir de los modelos preexistentes de *Acetobacter aceti*, *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus fermentum*, *Lactococcus lactis*, *Saccharomyces cerevisiae* y *Staphylococcus aureus* tiene un total de 7.297 reacciones y 6.934 metabolitos. Este trabajo servirá como punto de partida para estudios enfocados a la asociación de los organismos con diferentes propiedades del chocolate, lo que amplía las posibilidades para la producción de cacao especial y acerca al productor de cacao al entendimiento de los procesos naturales asociados a la producción de chocolate y los organismos responsables de dicha actividad.

**Palabras Clave:** Cacao, fermentación, modelos metabólicos, bioinformática.

## Propiedades antioxidantes y análisis de los péptidos durante la hidrólisis enzimática de proteínas de lactosuero

Jesus Morales García<sup>1\*</sup>, Jorge Duitama Castellanos<sup>2</sup> Andrés Fernando González Barrios<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Diseño de Productos y Procesos (GDPP), Departamento de Ingeniería Química y alimentos, Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación, Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia

\*Autor de correspondencia: [ja.morales13@uniandes.edu.co](mailto:ja.morales13@uniandes.edu.co)

### Resumen

El lactosuero es un subproducto derivado del proceso de fabricación del queso, usualmente desaprovechado por la industria láctea, especialmente en las regiones de menor desarrollo agroindustrial del país. La hidrólisis enzimática de las proteínas del lactosuero es un proceso que puede generar péptidos bioactivos con funciones biológicas como la capacidad antioxidante, agregando valor a este subproducto. En este trabajo, las enzimas Alcalase 2.4 L (de *Bacillus licheniformis*) y Flavourzyme (de *Aspergillus oryzae*) se utilizaron para hidrolizar las proteínas del lactosuero a diferentes condiciones de proceso: relación enzima- sustrato E/S, tiempo de hidrólisis, temperatura y pH. Se realizó un diseño ortogonal de Taguchi (34) para establecer efectos sobre las variables del proceso con un número reducido de tratamientos, conteniendo nueve tratamientos con tres repeticiones para cada enzima. Las propiedades antioxidantes de los hidrolizados se midieron mediante diferentes ensayos (ABTS, FRAP y Quelación de metales). Los resultados de la capacidad antioxidante revelan diferencias significativas entre los diferentes experimentos en la hidrólisis enzimática de proteínas de lactosuero para generar péptidos antioxidantes. En particular se observó que la Alcalase produjo una mayor hidrólisis proteica en comparación con Flavourzyme en las mismas condiciones, lo cual puede atribuirse al mecanismo de la enzima. En consecuencia, se realizó un análisis peptidómico por duplicado con 3 experimentos del diseño de Taguchi para cada enzima, obteniendo un perfil completo de 2.572 péptidos liberados en las 6 muestras analizadas. El análisis de componentes principales muestra la repetibilidad de los duplicados y diferenciación entre enzimas. Finalmente, se construyó un clasificador binario (antioxidante y no antioxidante) utilizando métodos de aprendizaje supervisado a partir de péptidos antioxidantes reportados en las bases de datos para clasificar los péptidos encontrados en el

lactosuero. De esta manera se espera comprender mejor la liberación de péptidos antioxidantes durante la hidrólisis enzimática de proteínas de lactosuero y seleccionar péptidos promisorios para desarrollo de nuevos productos.

**Palabras Clave:** lactosuero, hidrólisis enzimática, péptido, antioxidante

## Formulación de un tratamiento tópico basado en un nanobioconjugado magnetita-buforina-ii para el tratamiento de infecciones causadas por *staphylococcus aureus* (MRSA)

Muñoz Laura N.<sup>1</sup>, Pérez Jessica G.<sup>2</sup>, Suarez-Arnedo Alejandra<sup>2</sup>, Muñoz-Camargo Carolina<sup>2</sup>, Cruz Juan C.<sup>2</sup>, González Barrios Andrés Fernando<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Diseño de Productos y Procesos (GDPP), Departamento de Ingeniería Química, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Nanobiomateriales, Ingeniería Celular y Bioimpresión (GINIB), Departamento de Ingeniería Biomédica, Universidad de los Andes, Bogotá. Colombia

\*Autor de Correspondencia: [andgonza@uniandes.edu.co](mailto:andgonza@uniandes.edu.co)

### Resumen

El microorganismo *Staphylococcus aureus* es una bacteria Gram-positiva que hace parte de la microbiota común de la piel. Sin embargo, la cepa resistente a antibióticos  $\beta$ -lactámicos, puede causar graves infecciones nosocomiales para las cuales aún no existe un tratamiento efectivo. Esta problemática de salud pública cobra la vida del 62% de los pacientes que contraen la infección [1], [2]. Con el fin de desarrollar nuevos tratamientos que permitan tratar este tipo de infecciones, se ha propuesto el uso de péptidos antimicrobianos (PAM), los cuales no solo tienen actividad antibacteriana, sino que también favorecen la regeneración de los tejidos afectados al promover fagocitosis y angiogénesis [3], [4]. Este proyecto busca desarrollar un tratamiento tópico cuyo principio activo es el péptido antimicrobiano Buforina II inmovilizado en nanopartículas de magnetita, es decir, en forma de nanobioconjugado. Esto con el propósito de que pueda ser empleado como tratamiento potencial contra las infecciones producidas por *S. aureus*. El diseño del tratamiento tópico involucró la formulación y la evaluación de emulsiones concentradas directas (O/W) e inversas (W/O) basadas en agua, aceite mineral y varios surfactantes y espesantes. La selección de componentes se hizo atendiendo a principios aprobados para uso en cremas corporales [5]. Para llevar a cabo la preparación de las emulsiones, la fase acuosa y la fase oleosa

se prepararon por separado, se filtraron y se adicionó el nanobioconjugado en la fase acuosa antes de iniciar la preparación de la emulsión. Posteriormente, la fase dispersa se incorporó en la fase continua mediante agitación mecánica seguida de la etapa de homogeneización.

La preparación completa se llevó a cabo en cabina de flujo laminar para mantener condiciones suficientes de asepsia. Para verificar la actividad del péptido inmovilizado en la emulsión y la hemo y biocompatibilidad del producto final, se realizaron pruebas de actividad antibacteriana, hemólisis y citotoxicidad de acuerdo con los estándares y las normas establecidas para evaluación de dispositivos médicos [6], [7], [8]. Adicionalmente, se midió el tamaño de gota de cada una de las emulsiones y se evaluó el comportamiento reológico y la estabilidad en el tiempo de estas. Se encontró que las emulsiones inversas presentan fenómenos de inestabilidad como floculación, lo cual fue atribuido al bajo valor de HLB (balance hidrofílico-lipofílico) requerido y a la cantidad de grupos etoxilados presentes en la estructura de uno de los surfactantes no-iónicos que se empleó. Las emulsiones directas demostraron ser estables por un periodo superior a dos meses, y son más suaves y menos grasosas al tacto que las emulsiones inversas. Además, las pruebas de citotoxicidad mostraron que a una concentración inferior al 10%, la viabilidad celular es superior al 50% con la emulsión formulada, mientras que con el control comercial (Fucidin) no superó el 10%. Finalmente, se ha comprobado que tanto las emulsiones inversas como las directas se pueden emplear como vehículos para dispersar el nanobioconjugado magnetita-Buforina-II sin causar un efecto negativo en su acción antibacteriana. En conclusión, se demostró el potencial de los tópicos desarrollados en el control de infecciones causadas por *S. aureus* y su alta biocompatibilidad. Como trabajo futuro se plantea la evaluación del tópico con MRSA así como pruebas en modelos de piel *in vitro* que simulan en forma más fidedigna las condiciones fisiológicas *in vivo*.

**Palabras Clave:** Staphylococcus aureus, nanobioconjugado, emulsión, biocompatibilidad, estabilidad.

## Trends in process extraction of oleoresin from ginger (*Zingiber officinale roscoe*). A review with an emphasis on its potential applications

Leidy Dayana Real Salas<sup>1\*</sup>, Paula Mariana Vargas Molina<sup>2</sup>, Lilia Carolina Rojas-Pérez<sup>3</sup>

Grupo ONTARE, Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería,  
Universidad EAN, Calle 79 11-49, Bogotá D.C., Colombia

\*Autor de correspondencia: lrealsa79982@universidadean.edu.co

### Resumen

El gingerol y el shogoel son los principales componentes de la oleorresina extraída del jengibre con una serie de actividades biológicas, su contribución a la salud y la nutrición humanas ha sido importante desde tiempos inmemoriales y aún hoy es objeto de una amplia investigación. El jengibre se usa comúnmente como especia, pero se reconoce que las propiedades biológicas de los gingeroles y shogaoles poseen propensiones antimicrobianas, anticancerosas, antioxidantes, antiinflamatorias y antialérgicas. La difusión de la medicina alternativa se ha extendido desde la India a toda Centroamérica y el Caribe, lugares que por sus condiciones climáticas permiten un excelente crecimiento de la planta, permitiendo ubicar a Colombia como un país con un alto potencial de producción y transformación de este producto. El objetivo principal de este trabajo es presentar los avances en el proceso de extracción de oleorresinas a partir de jengibre, comparando las tecnologías desarrollada tanto en procesos convencionales como no convencionales, mostrando las ventajas y desventajas de cada método. El jengibre está compuesto principalmente por carbohidratos 60-70%, proteína 9% y oleorresinas 3-7,5%. El rendimiento de extracción de aceite de los rizomas secos es generalmente del 1,5% al 3,0%. El proceso industrial de producción de oleorresinas a partir de jengibre se puede dividir principalmente en siete etapas: 1) almacenamiento de los rizomas de jengibre, 2) Limpieza, mediante la eliminación de las raíces del rizoma, las cuales deben cortarse para minimizar el tiempo de secado, el espesor recomendado es entre 0,3 y 0,5 mm. 3) Secado, es fundamental señalar que este proceso mejora la eficiencia de la destilación, las condiciones recomendadas son: mantener una temperatura de 4 a 6°C durante 4 horas. 5) Molienda, se recomienda un molino de martillos con una capacidad de 1,5 mm que permita romper las celdas que contienen el aceite. 6) Extracción por arrastre de vapor, las partículas aumentan la temperatura, evaporan el agua y el aceite esencial, tan pronto como los vapores del alambique se condensan, el

producto es una emulsión entre las sustancias. 7) Separación por decantación, la temperatura óptima para la separación debe ser de 25-30°C, se realiza mediante una operación de decantación, por el principio de diferencia de densidad. Es así que se determinó que las extracciones poseen diferentes rendimientos de extracción siendo unas más benéficas que otras, esto se debe a las características únicas y uso de procesos o equipos más tecnificados, además se tendrá en cuenta que el uso final del aceite o oleorresina será en la industria farmacéutica aportando a la disminución de la inflamación y dolor de las enfermedades artrítica de las personas.

**Palabras Clave:** Jengibre, Gingerol, Shogoel, Métodos de extracción, Oleorresina.

## **Análisis del proceso de obtención de materiales de base biológica derivados de proteínas, oligopéptidos y/o aminoácidos a partir de cascarilla de cebada del proceso cervecero**

Sergio Enrique Rozo Perdomo\*, Lilia Carolina Rojas-Pérez  
SIIPAR-Biotecnología, Biorrefinerías (Tecnológico Ontare),  
Pregrado en Ingeniería química, Calle 79 # 11 – 45.

\*Autor de correspondencia: [srozope21320@universidadean.edu.co](mailto:srozope21320@universidadean.edu.co)

### **Resumen**

La malta cervecera (*Hordeum vulgare* L.) en el marco de programa del ministerio de agricultura y desarrollo rural “Colombia siembra”, plantea llegar en 2021 a un cultivo total de este cereal de 84.000 toneladas anuales, representando un aumento del 84% con respecto a las 13.500 toneladas que se cultivaban a 2016. Al momento del inicio del programa Colombia tenía un área sembrada de 5.700 hectáreas, lo que representaba una producción nacional de 13.500 toneladas, distribuida principalmente entre los departamentos de Boyacá (73,85%), Cundinamarca (14,7%) y Nariño (11,4%). El consumo nacional de cebada es de 267.311 toneladas lo que ha llevado a la importación de al menos un 95% de la cantidad necesaria para la industria.

El acceso sostenible a productos químicos y materiales es cada vez más importante. Una fuente potencial de productos químicos y materiales sostenibles son

los residuos de biomasa lignocelulósica producidos como desechos en la producción de cerveza. La cascarilla de cebada generada de dicha producción es un componente importante de los residuos generados y tiene muchas aplicaciones potenciales, como la producción de materiales de empaque, administración de medicamentos y aplicaciones biomédicas. Se puede proponer por lo tanto una investigación encaminada a facilitar la adquisición de dichos materiales de base biológica a partir de estos residuos.

**Palabras clave:** *Hordeum vulgare* L., productos de base biológica, proteínas, oligopéptidos, aminoácidos.

## Estudio de las condiciones de crecimiento y producción de hidrógeno de la bacteria *afifella marina* mediante el proceso de fotofermentación

Yenny P. Morales Cortés<sup>\*</sup>, Patricia Castillo Moreno<sup>1</sup>, Juan C. Serrato Bermúdez<sup>2</sup>, Jean P. Magnin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, Bogotá

<sup>2</sup>Laboratory of Electrochemistry and Physico-chemistry of Materials and Interfaces, Grenoble

\*Autor de correspondencia: e-mail: ypmoralesc@unal.edu.co.

### Resumen

Uno de los grandes retos que se enfrenta en la actualidad es el desarrollo de energía renovables que permitan reemplazar el uso de combustibles de fuentes no renovables como el petróleo, carbón y gas natural. Si bien los países vienen trabajando en el desarrollo de diferentes tecnologías como energía eólica, energía fotovoltaica, tecnologías para la obtención de biogás, entre otros, estos aún no son suficientes para diversificar eficientemente las canastas energéticas. Existen grandes retos que deben ser superados para la implementación exitosa de estas tecnologías, algunos de ellos son: lograr no empobrecer las regiones, alcanzar sistemas sostenibles, realizar inversiones desde entidades públicas y privadas, disminuir costos de los procesos biotecnológicos, reducir la complejidad de procesos biotecnológicos para la obtención de diferentes productos. Entre las tecnologías candidatas como fuentes renovables, el uso de hidrógeno presenta un gran potencial, dado que este elemento constituye un versátil portador de energía que puede ser producido por diferentes métodos y a su vez puede ser utilizado en la industria energética en diversas aplicaciones. El hidrógeno se pue-

de obtener utilizando energías renovables y por lo tanto no genera emisiones nocivas al ambiente, lo cual lo convierte en una excelente alternativa frente a los combustibles. Existe un creciente consenso mundial sobre el hidrógeno como ficha clave en la transición hacia energías verdes y sostenibles. Las vías biológicas para la obtención del hidrógeno verde han tomado un auge muy grande, el proceso de fermentación oscura sucede en condiciones anóxicas o anaeróbicas de microorganismos como *Clostridium* para la producción de hidrógeno, por otro lado, la fotofermentación es un proceso donde también se puede producir hidrógeno por fermentación utilizando la luz y usando ácidos orgánicos como fuentes de carbono. En el presente estudio se evaluó la producción de hidrógeno con *Afifella marina* mediante fotofermentación. Se consideró el uso de un efluente rico en ácidos orgánicos (AO) (ácido láctico, ácido acético y ácido butírico) como fuente de carbono. Además, en el proceso se evaluó la concentración de glutamato y NaCl. El trabajo experimental se realizó con un medio sintético, la concentración máxima de AO evaluada como fuente de carbono fue de 120 mM. La producción de hidrógeno se controló mediante cromatografía de gases, el consumo de AO se siguió mediante HPLC. Se utilizó glutamato como fuente de nitrógeno, el efecto de este componente mostró una influencia significativa en la producción de hidrógeno. *Afifella marina* exhibió una capacidad para producir H<sub>2</sub> en presencia de 3% de NaCl y una intensidad de luz entre 3000 y 20000 lux. El rendimiento máximo de producción obtenido fue de 2,38 mmol H<sub>2</sub> mmol<sup>-1</sup> de ácido láctico. Los resultados confirman que *Afifella marina* puede producir hidrógeno con unas condiciones de crecimiento específicas, adicionalmente fue posible identificar qué condiciones (intensidad de luz, concentración inicial de AO, concentración de glutamato) conducen a la mayor producción de hidrógeno.

## Aplicación de la cinética de arrhenius para evaluar la estabilidad de miel de “angelita” (*tetragonisca angustula*) en diferentes condiciones

Claudia Hernández-Londoño <sup>1\*</sup>, Ana Ruby Correa <sup>2</sup> y Marta Cecilia Quicazán <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Grupo Bioprocesos y Agroindustria, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena, Campus Piedra de Bolívar

<sup>2</sup>Grupo CICUG, Facultad de Arte, Comunicación y Cultura, Universitaria Agustiniana, Campus Tagaste (Bogotá)

<sup>3</sup>Grupo Aseguramiento de la calidad de alimentos y desarrollo de nuevos productos, Instituto ICTA, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá

\*Autor de Correspondencia: [chernandezl@unicartagena.edu.co](mailto:chernandezl@unicartagena.edu.co)

### Resumen

En Colombia existen alrededor de 120 especies de abejas nativas, que son diferentes de la comúnmente conocida abeja *Apis mellifera*. Dentro de estas abejas nativas alrededor de 34 especies son productoras de miel, destacándose la abeja “angelita” (*Tetragonisca angustula*) por su mayor productividad y por encontrarse ampliamente distribuida en el país. La estabilidad de la miel de angelita durante el almacenamiento ha sido poco estudiada. La diastasa ( $\alpha$  y  $\beta$  amilasa) es una enzima termolábil (sensible al calor) que está presente naturalmente en la miel fresca. Se ha estudiado cómo el almacenamiento y diferentes tipos de tratamiento térmico modifican los niveles de diastasa en mieles de *A. mellifera*. Además, se ha caracterizado la diastasa en mieles nativas de diferentes especies y después de aplicados diferentes tratamientos térmicos. La aplicación del modelo de Arrhenius permitirá conocer el tiempo de estabilidad de la miel a diferentes temperaturas. El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de la temperatura en la calidad de miel de *T. angustula* durante el almacenamiento y aplicar el modelo de Arrhenius en la predicción de la estabilidad de esta miel tratada térmicamente. Se evaluaron los niveles de diastasa durante el almacenamiento a 30, 40 y 50 °C de miel de *T. angustula* tratada térmicamente. La actividad diastasa se midió por el método espectrofotométrico de Shade y los resultados fueron expresados como número de diastasa (ND). La actividad diastasa siguió una cinética de orden cero y las constantes de velocidad de reacción (k) fueron: 0,1265, 0,3654 y 4,3984 ND/día para 30, 40 y 50 °C, respectivamente. La energía de activación del proceso de degradación de la diastasa en miel de *T. angustula* tratada térmicamente fue 143,85 kJ/mol. A través del modelo se estimó un tiem-

po de estabilidad para la miel de *T. angustula* de 47, 21 y 8 meses a 19, 23 y 28 °C, respectivamente.

**Palabras Clave:** abejas sin aguijón, actividad diastasa, almacenamiento, energía de activación.

## **Efecto del tratamiento con campos magnéticos sobre las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas de pasta de aguacate (*persea americana mill*) variedad hass.**

*Lexy León*<sup>1</sup>, *Victor Gelvez y Ruben Carreño*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de investigación Innovaciones Alimentarias INNOVA, Maestría Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad de Pamplona, Km 1 Vía Bucaramanga Ciudad Universitaria Pamplona – Norte de Santander,

<sup>2</sup>Grupo de investigación en Ciencias Agronómicas y Pecuarias, Programa Zootecnia. Universidad Francisco de Paula Santander, Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Colsag

\*Autor de Correspondencia: [lexycarolinalc@ufps.edu.co](mailto:lexycarolinalc@ufps.edu.co)

### **Resumen**

El aguacate es una fruta de gran contenido nutricional, propio de nuestra cultura y tradición, el cual se cultiva principalmente para el consumo local, con gran potencial exportador como frutas frescas y procesadas. El aguacate, presenta una variada posibilidad de usos como productos industrializados, por lo anterior, se pretende potenciar el uso de los Campos Magnéticos (CM) en la conservación de este producto. El objetivo del presente proyecto fue evaluar el efecto del tratamiento con campos magnéticos (2.4 mT/0, 30 y 60 min) durante los días 1, 3 y 5 sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la pasta de aguacate (*Persea americana*) variedad *hass*, para ello se utilizaron aguacates en estado de madurez comercial adquiridas en la central de abastos de Cúcuta (Cenabastos), extrayendo la pulpa manualmente y empacando muestras de 50 gr, las cuales fueron sometidas a un equipo prototipo generador de campo magnético elaborado en la Universidad de Pamplona; posteriormente se realizaron los análisis fisicoquímicos (color, pH) y microbiológicos (recuento total de aeros mesofilos - recuento de mohos y levaduras). Se determinó que el pH en todos los tratamientos aumenta comparado con la muestra control saliendo del valor óptimo para la actividad de la polifenolxidasa (5,5 a 6,5); respecto al color existen diferencias estadísticamente significativas en los tratamientos para los parámetros de color

L\*, a\*, b\* y ΔE. Por otra parte, los análisis microbiológicos nos permiten concluir que los parámetros evaluados cumplen con lo establecido en la Resolución 3929/13 para una pasta categorizada en nivel de buena calidad, permitiendo así el consumo sin ocasionar algún tipo de riesgo.

**Palabras Clave:** pasta de aguacate, campo magnético, variedad hass

## Bioconversión microalgal de aguas residuales agrícolas en metabolitos de interés

*Miguel Ángel Castellanos Estupiñán\*, Dorance Becerra Moreno, Andrés Fernando Barajas- Solano.*

Grupo de Investigación Ambiente y vida, Programa o Departamento,

Universidad Francisco de Paula Santander UFPS, Avenida Gran Colombia No. 12E-96

Barrio Colsag, San José de Cúcuta – Colombia

\*Autor de Correspondencia: [angel.1@hotmail.com](mailto:angel.1@hotmail.com)

### Resumen

En el contexto ambiental actual existen diversas problemáticas que están afectando el planeta tierra tal y como lo conocemos, El calentamiento global, la contaminación de fuentes hídricas por aguas residuales industriales, la contaminación con residuos plásticos pos-consumo derivados de combustibles fósiles, la demanda y presión hacia el recurso hídrico, entre otros; han puesto en alerta a la comunidad científica en la búsqueda de soluciones prácticas a estas problemáticas, diversas investigaciones se centran en la búsqueda de una simbiosis natural para la obtención de productos de valor agregado partiendo del re-uso de nutrientes que normalmente son desechados y/o liberados al medio ambiente perdiendo su valor comercial y causando diversas problemáticas ambientales ya conocidas.

Recientes investigaciones revelan que las microalgas y las cianobacterias tienen un potencial prometedor en la producción de metabolitos de interés para diversas aplicaciones químicas y biológicas en diferentes industrias; Entre los metabolitos de interés para la industria de alto valor se encuentran principalmente biopolímeros como polihidroxialcanoatos (PHA), considerado sustituto de los plásticos a base de petróleo ya que proporciona propiedades mecánicas similares a los polímeros sintéticos, y Exopolisacáridos (EPS) los cuales poseen

características estructurales apetecidas en diferentes industrias asociadas con propiedades biológicas y fisicoquímicas específicas.

Uno de los principales desafíos en la actualidad para la producción de metabolitos de alto interés comercial como EPS Y PHA es la biorefinación a bajo costo y alta eficiencia, ya que la producción de biomasa microalgal requiere altos costos en nutrientes y sales necesarios para la producción junto a grandes volúmenes de agua.

La investigación en curso ha demostrado que cultivos de microalgas (*Chorella sp* UFPS010; *Scenedesmus sp* UFPS002) y cianobacterias (Ciano13\_UFPS013; *Hapalosiphon sp* UFPS015) crecen satisfactoriamente a concentraciones del 100% de agua residual proveniente de cultivos agrícolas, logrando una producción de biomasa para microalgas entre 0,7 g/L y 1 g/L; y para cianobacterias entre 0,5 g/L y 0,8 g/L, evidenciando un consumo aproximado entre 80 y 95 % de los nutrientes allí presentes, lo que representa una alta disminución en costos de producción de biorefinación algal teniendo en cuenta que el costo por nutrientes y sales de carbono orgánico requeridos para los medios de cultivo equivalen aproximadamente al 50% del costo total de producción. En términos ambientales se demuestra un potencial de 100% de re-uso del agua residual agrícola, el tratamiento de las misma mediante un sistema de ficoremediación que permite mejorar los parámetros fisicoquímicos para su posterior descarga al agua o al suelo, y la captura de CO<sub>2</sub> en la atmósfera por parte de estos microorganismos.

**Palabras Clave:** Bioconversión, Agua Residual, Metabolitos, Tratamiento, Biorefinación

## Características fisicoquímicas del río Zulia - Norte de Santander en la proliferación de géneros amebianos y bacterias endosimbiontes relacionados con infecciones gastrointestinales

*Elena María Peñaranda Lizarazo<sup>1</sup>, Yesmit Karina Ríos Ramírez<sup>1</sup>, Karen Piedad Martínez Marciales<sup>2</sup>, Ana Milena Arias Pedraza<sup>3</sup>, Jairo Andrés Moncada Ortíz<sup>3</sup>, María Isabel Rangel Hernández<sup>3</sup>, Jessenia Yulieth Tirado Solano<sup>3</sup>, Sara Milena Valderrama Álvarez<sup>3</sup>, Sandra Patricia Vega Pabón<sup>3</sup>, Adriana Rodríguez Lizcano<sup>4</sup>, Néstor Andrés Urbina Suárez<sup>5\*</sup>*

<sup>1-2</sup>Grupo de Investigación Biogen, Programa Bacteriología y laboratorio clínico, Universidad de Santander, Campus Universitario Urbanización El Bosque, Avenida 4 10N-61 Cúcuta.

<sup>3</sup>Grupo de Investigación Crisálida, Programa Bacteriología y laboratorio clínico, Universidad de Santander, Campus Universitario Urbanización El Bosque, Avenida 4 10N-61 Cúcuta.

<sup>4-9</sup>Programa Bacteriología y laboratorio clínico, Universidad de Santander, Campus Universitario Urbanización El Bosque, Avenida 4 10N-61 Cúcuta.

<sup>10</sup>Grupo de Investigación en Infraestructura Vial, Programa Ingeniería Civil, Universidad Francisco de Paula Santander.

<sup>11</sup>Grupo de investigación ambiente y vida, Programa Ingeniería Ambiental, Universidad Francisco de Paula Santander, Avenida Gran Colombia 12E-96 Colsag Cúcuta.

\*Autor de Correspondencia: [nestorandresus@ufps.edu.co](mailto:nestorandresus@ufps.edu.co)

### Resumen

Las amebas de vida libre (AVL) son protozoos capaces de vivir como organismos de vida libre y como endoparásitos, presentan una amplia distribución en diversos ambientes, siendo ubicuas en la naturaleza. Su hábitat principal es el suelo y desde ahí pueden llegar al agua. Además, tienen la capacidad de establecer relaciones simbióticas con otros microorganismos. La interacción entre las amebas y las bacterias en algunos casos, se caracteriza por una simbiosis en la cual, ambos microorganismos se benefician de la asociación y en otros casos por un parasitismo, ya que terminan con la liberación de la bacteria mediante la lisis de la ameba (Fernández, 2014). La investigación que aquí se presenta muestra las características físicoquímicas del cauce principal de los Ríos Pamplonita y Zulia de Norte de Santander y confirma la presencia de géneros de AVL, así como algunas bacterias que se encuentran asociadas a éstas, la importancia de dicho estudio radica en que estas condiciones y microorganismos pueden tener repercusiones sobre la población que accede a estas fuentes hídricas para diferentes propósitos. Se analizaron cuatro puntos del río Zulia; 1. Después de la toma de la planta Termotasajero. 2. Puente que comunica los municipios de Zulia y Cúcuta. 3. Antes del paso por el Distrito de Riego. 4. Después del Distrito de riego. La caracterización fisicoquímica en términos de DQO y DBO evidencian que el

punto antes de la toma de la termotasajero indican la menor concentración de carga contaminante en términos de estos parámetros (150 ppm  $\pm$  31.2 y 52 ppm  $\pm$  3.84 respectivamente), mientras que el punto después de la descarga de aguas residuales de quebrada seca posee la mayor concentración de estos parámetros (375 ppm  $\pm$  35 y 280 ppm  $\pm$  21.2 respectivamente). Los parámetros de nitrógeno, fósforo, fosfatos, cloruros evidencian,

aguas con contenidos altos de M.O. que pueden generar condiciones para los AVL. En cuanto a presencia de AVL en el primer y segundo punto muestreado se encontraron quistes y trofozoitos de *Acanthamoeba* spp., en el tercer punto se detectaron quistes y trofozoitos de *Vermamoeba* sp. y *Acanthamoeba* sp. así como trofozoitos del género *Vahlkampfia* sp., y en el cuarto punto se encontraron trofozoitos del género *Acanthamoeba* sp. y *Vanella* sp. y quistes del género *Vermamoeba* sp. Entre las bacterias endosimbióticas de estas amebas se encontró a *Kocuria rosea*, *Dermacoccus nishinomiyaensis*, *Achromobacter denitrificans*, *Pseudomonas fluorescens* (organismos aerobios responsables de bacteremias), *Granulicatella adiacens* (Endocarditis infecciosa y abscesos) y *Clostridium histolyticum* (productores de gangrena gaseosa). Existió presencia de coliformes en todas las muestras, resultando acorde con los resultados fisicoquímicos, evidenciando que las condiciones de todas las muestras presentan un ambiente propicio para su crecimiento y el de AVL propias de ambientes con variados contenidos de materia orgánica.

**Palabras Clave:** recurso hídrico, DBO, DQO, amebas, endosimbiontes.

## Utilización de agvs para la fijación biológica de nitrógeno en efluentes anaerobios

Celis Rodríguez Diocelina<sup>1</sup>, Rodríguez Lizcano Adriana<sup>2</sup> Urbina Suárez Néstor Andrés<sup>1\*</sup> Sanabria Janeth<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Ambiente y vida, Programa Ingeniería Ambiental, Universidad Francisco de Paula Santander UFPS.

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Infraestructura Vial, Facultad de Ingeniería, Universidad Francisco de Paula Santander

<sup>3</sup>Grupo de Investigación de Procesos Avanzados para Tratamiento Químicos y Biológicos. Facultad de Ingenierías

\* Autor de Correspondencia: [nestorandresus@ufps.edu.co](mailto:nestorandresus@ufps.edu.co)

### Resumen

Se ha encontrado que existen 3 tipos de fijación de nitrógeno: la biológica, la geoquímica y la industrial, aproximadamente se fijan entre 40–100 Tg de nitrógeno anualmente (Vitousek et al., 2013). En el proceso de fijación biológica (FBN), los microorganismos fijan el nitrógeno convirtiendo el nitrógeno gaseoso en amonio gracias al complejo de enzimas nitrogenasas. Este tipo de fijación es vital para los diferentes procesos biológicos ya que fija el 65% del total del nitrógeno fijado, así mismo es un proceso que requiere de energía y está estrechamente ligado con el ciclo de carbono (Herridge, Peoples, & Boddey, 2008; Ji, Zhang, & Cai, 2011). Actualmente existen factores que afectan el proceso de fijación de nitrógeno como la relación C/N y las fuentes de carbono, los procesos de FBN se determinan a través de la implementación de fuentes de Carbono para llevar a cabo un proceso eficiente, mediante este proceso es posible obtener un importante suministro de nitrógeno para determinadas especies vegetales (Urzúa, 2005).

Este trabajo evaluó diferentes fuentes de carbono AGVs para el cultivo de Bacterias Fijadoras de Nitrógeno. Se utilizó un consorcio bacteriano en biorreactores de 0.7L a una temperatura de 30°C, 150 RPM de agitación y aireación de 1.5 vvm. Como fuentes de AGVs se evaluó el ácido acético, ácido propiónico, ácido butírico y una mezcla de los tres simulando un efluente anaerobio. Los resultados mostraron que existen diferencias significativas en términos de producción de biomasa y fijación de nitrógeno en los cultivos con ácido acético y la mezcla de las tres fuentes en comparación con el butirato y propionato. La mayor producción de biomasa se obtuvo en el acetato seguido de la mezcla, mientras que en los cultivos de butirato y propionato la producción de biomasa fue baja. Las remociones de DQO y DBO fue mayor en los cultivos con acetato y la mezcla de

los AGVs. Se evidencio que la temperatura y el pH afectan el proceso de fijación principalmente en la mezcla de AGV utilizada.

**Palabras Clave:** Fuente de Carbono, AGVs, Nitratos, Biomasa.

## Application of process system engineering tools to the fed- batch production of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) from a vinasses–molasses mixture.

Cesar García<sup>1,2</sup> · Wilman Alcaraz<sup>2</sup> · Alejandro Acosta-Cárdenas<sup>2</sup> · Silvia Ochoa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> SIDCOP Research Group, University of Antioquia, Medellín, Colombia

<sup>2</sup> Biotransformación Research Group, University of Antioquia, Medellín, Colombia

\*Autor de correspondencia: [silvia.ochoa@udea.edu.co](mailto:silvia.ochoa@udea.edu.co)

### Resumen

Polyhydroxyalkanoates (PHAs) are polymers of biological origin, claimed to be an environmentally friendly option for replacing petroleum-based plastic materials in a wide number of applications. However, production costs of these materials are still higher when compared to petroleum-based plastics, preventing the expansion of this biopolymer industry, in spite of its innumerable environmental advantages. Therefore, in the past years, many efforts from the academic field have been done in order to improve the technical and economic feasibility of the process [1]. Some of these efforts have focused on using alternative low-cost substrates [2–5]. Other works have focused on using tools from the process systems engineering (PSE), in order to address the modelling, optimization and control of the process, towards increasing its productivity [6–10]. Recently, some references [4, 5] have reported the use of vinasses as low-cost substrate for producing PHA-type biopolymers, which is attractive in terms of using such kind of waste for obtaining a high valuable product. The main interest on exploring the use of vinasses is that they are a residual liquid obtained in very high amounts as by-product of the ethanol industry. As an example, the sugarcane-based bio-ethanol industry generates around 10–15 litres of vinasses per litre of ethanol produced [11]. Vinasses are commonly used as fertilizer and soil conditioner in sugar cane fields [11, 13], and although they are not considered a hazardous waste, they are indeed a complex recalcitrant wastewater. Therefore, their discharge into the environment can contaminate the soil and groundwater [11], which is a

serious environmental concern, especially when considering the high amount of vinasses produced worldwide. Fed-batch production of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) copolymer using vinasses– molasses mixture is carried out in this work by implementing different process systems engineering tools. Two fed-batch strategies are tested experimentally at 5 L scale, considering only offline information: (1) offline optimizing control and (2) exponential feeding. Application of these strategies showed that different feeding profiles result in different dynamic behavior, influencing both, yield and biopolymer properties. As offline- based feeding strategies do not consider information of the culture status, they cannot deal with uncertainties. Therefore, a closed loop control strategy was implemented, which uses biomass and substrate information predicted online by soft-sensors. Results demonstrated the technical feasibility to produce biopolymer using a 75/25%vol. vinasses–molasses mixture. Successful implementation of the soft-sensor-based control strategy was evidenced at pilot plant scale, where sugar concentration was kept almost constant for 14 h, while obtaining the desired copolymer. Thus, proposed control strategy could be of interest at industrial-scale.

**Palabras Clave:** Fed-batch culture, Soft-sensor, Polyhydroxyalkanoates, Closed loop control · Vinasses.

### References:

1. Ntaikou I, Koumelis I, Tsitsilianis C, Parthenios J, Lyberatos G (2018) Comparison of yields and properties of microbial polyhydroxyalkanoates generated from waste glycerol-based substrates. *Int J Biol Macromol* 112:273–283.
2. Nielsen C, Rahman A, Rehman AU, Walsh MK, Miller CD (2017) Food waste conversion to microbial polyhydroxyalkanoates. *Microbial Biotechnol* 10(6):1338–1352
3. Salakkam A, Webb C (2018) Production of poly (3-hydroxybutyrate) from a complete feedstock derived from biodiesel byproducts (crude glycerol and rapeseed meal). *Biochem Eng J* 137:358–364
4. Bhattacharyya A, Pramanik A, Maji SK, Haldar S, Mukhopadhyay UK, Mukherjee J (2012) Utilization of vinasse for production of poly-3-(hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate) by *Haloferax mediterranei*. *AMB Express* 2(1):34

5. Pramanik A, Mitra A, Arumugam M, Bhattacharyya A, Sadhukhan S, Ray A et al (2012) Utilization of vinasse for the production of polyhydroxybutyrate by *Haloarcula marismortui*. *Folia Microbiol* 57(1):71–79
6. Khanna S, Srivastava AK (2006) Optimization of nutrient feed concentration and addition time for production of poly ( $\beta$ -hydroxybutyrate). *Enzyme Microbial Technol* 39(5):1145–1151
7. López JA, Bucalá V, Villar MA (2010) Application of dynamic optimization techniques for poly ( $\beta$ -hydroxybutyrate) production in a fed-batch bioreactor. *Indus Eng Chem Res* 49(4):1762–1769
8. Lopez-Arenas T, González-Contreras M, Anaya-Reza O, Sales-Cruz M (2017) Analysis of the fermentation strategy and its impact on the economics of the production process of PHB (polyhydroxybutyrate). *Comput Chem Eng* 107:140–150
9. Penloglou G, Vasileiadou A, Chatzidoukas C, Kiparissides C (2017) Model-based intensification of a fed-batch microbial process for the maximization of polyhydroxybutyrate (PHB) production rate. *Bioprocess Biosyst Eng* 40(8):1247–1260
10. Novak M, Koller M, Braunegg M, Horvat P (2015) Mathematical modelling as a tool for optimized PHA production. *Chem Biochem Eng Q* 29(2):183–220
11. Moran-Salazar RG, Sanchez-Lizarraga AL, Rodriguez-Campos J, Davila-Vazquez G, Marino-Marmolejo EN, Dendooven L, Contreras-Ramos SM (2016) Utilization of vinasses as soil amendment: consequences and perspectives. *SpringerPlus* 5(1):1007

## Producción de un biodisolvente por métodos biológicos

*Pablo Alejandro Torres Estrada<sup>1\*</sup>, Miguel Angel Pinedo Alfonso<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Centro de Estudios y de Investigación en Biotecnología –CIBIOT-, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Pontificia Bolivariana, Cq. 1 #70-01, Medellín, Antioquia.

\*Autor de Correspondencia: [pablo.torres@upb.edu.co](mailto:pablo.torres@upb.edu.co)

### Resumen

Para el año 2017 el mercado mundial de solventes se avaluó en 38.33 billones de dólares, con una proyección de 57.34 billones para el 2023; lo que plantea un crecimiento positivo para el sector, sin embargo, los productos son mayoritariamente derivados de petróleo, un recurso cada vez más limitado que conlleva a plantear discusiones de sostenibilidad y manejo ambiental respecto a su uso. Por esto, la aplicación de solventes verdes que mitigan el consumo de recursos primarios y permiten el aprovechamiento de residuos se propone como una solución alternativa. Evidencia científica demuestra que el lactato de etilo puede sustituir otros solventes comunes como: xileno, acetona, tolueno y butanona; gracias a su solvatación en un amplio rango de polaridad, y su utilidad con compuestos tanto polares, como no polares; específicamente en aplicaciones de manufactura, recubrimientos y pinturas, incluso, la Food and Drugs Administration de Estados Unidos certificó al LE como un producto “Generally Recognized as Safe”, es decir, disponible para uso en alimentos y fármacos. Además de ello, el lactato se sintetiza vía catálisis heterogénea durante la esterificación de ácido láctico en presencia de etanol mediado por una resina de intercambio iónico; sus precursores en la reacción se pueden obtener por vía fermentativa a partir de lactosuero residual de la manufactura de quesos, lo que convierte al compuesto en un biodisolvente idóneo gracias a su ruta de producción biológica, su biodegradabilidad y su baja toxicidad. Así destaca la industria láctea, donde la producción de 1 kg de queso genera un desecho de 9 L de suero. Lo que conlleva a un aporte de 60000 mg/L en demanda química de oxígeno, además, las microempresas en el país que no cuentan con los medios para tratar de manera correcta el lactosuero lo donan para alimentación animal, o incluso lo vierten en suelos o ríos. Esta disposición final representa una carga orgánica diaria de 1.285kg de demanda biológica de oxígeno; tan solo para las industrias en el norte Antioqueño. A razón de esto, en este artículo se estudió la producción del biodisolvente, lactato de etilo, mediante la reacción de ácido láctico en presencia de etanol. El

ácido láctico, como reactivo limitante es obtenido por fermentación anaerobia de lactosuero tras inocular con *Lactobacillus* sp. en medio líquido suplementado, la separación de biomasa y caldo se realizó por centrifugación. La reacción de esterificación fue luego simulada en el software de diseño ASPEN Hysys vía catálisis heterogénea en un reactor de lecho empacado con Amberlyst 15, donde se alcanzó una conversión del 72.62% en el reactor trabajando a 50°C, de manera isotérmica a presión atmosférica y una relación de alimentación 3 a 1 de etanol a ácido láctico. Finalmente, el proceso se estudió a escala de laboratorio donde se comparó resultados con los reactivos obtenidos por vía biológica con los resultados obtenidos con ácido láctico comercial y etanol donde se obtuvo una conversión del 47% para un ensayo en batch vía catálisis homogénea con ácido sulfúrico.

**Palabras Clave:** Lactato de etilo, fermentación láctica, esterificación, química verde, simulación

## Generación de abonos orgánicos fermentados, suplementados con controladores biológicos, obtenidos mediante el aprovechamiento de biomasa residual postcosecha de banano criollo

*Didier Rodríguez<sup>2\*</sup>, Jacipr Ramón<sup>1</sup>, Ángela Cajiao*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Agua, Aire y Suelos GIAAS, Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad de Pamplona, ciudadela universitaria, Edificio Ramón Gonzales Valencia, kilómetro 1 vía Bucaramanga, Pamplona, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [didier.rodriguez@unipamplona.edu.co](mailto:didier.rodriguez@unipamplona.edu.co)

### Resumen

El máximo aprovechamiento de la biomasa generada en las actividades agrarias debe proponerse como un ciclo sostenible y sustentable, donde se da un valor agregado al producto principal de cosecha, y se cierra el ciclo, transformando la biomasa residual del cultivo en complementos nutricionales, que retribuyan al suelo los nutrientes que previamente le fueron extraídos en el proceso de cosecha. Al reincorporar al suelo los nutrientes retirados, se garantiza el inicio de un nuevo ciclo, garantizando la producción y de igual forma, la generación de biomasa residual.

El banano criollo es uno de los cultivos insignia del campesinado colombiano, pero la producción actual, es destinada al consumo interno, por lo que la competencia de precios y problemáticas sociales agregadas, tienden a minimizar el área de cultivos. Así mismo, es un cultivo con una forma heredada de trabajo, subvalorado, y que no cuenta con apoyo estatal para su tecnificación, por lo que su cosecha se reduce al consumo, revelándose un mal manejo fitosanitario de los residuos postcosecha, los cuales son dejados en el área de siembra para su descomposición, incrementando los niveles de plagas, hongos y bacterias que al propagarse, amenazan la seguridad agroalimentaria del campesinado.

Como ingenieros químicos tenemos un papel decisivo en la búsqueda de iniciativas que amplifiquen la productividad y la sostenibilidad agroalimentaria, al tiempo que se desarrollan nuevas formas de generación energética, desarrollo agroalimentario y soluciones agroambientales.

Con la presente investigación, se propuso idear prácticas que conserven los espacios agroproductivos y que concuerden con un esfuerzo por la conservación ambiental, desarrollando una serie de procesos que permitan dar un aprovechamiento a los residuos biomásicos del cultivo de banano criollo, convirtiendo estos residuos en un fertilizante orgánico, con una carga de controladores biológicos, que repelan infecciones fúngicas y bacterianas propias del cultivo. Así mismo, se propuso diseñar un proceso con parámetros viables y reproducibles, con el que se puedan generar abonos fermentados de alto valor nutricional, y establecer los parámetros de mezclado para generar buenos niveles de fermentación en el diseño de bocashi. Las materias primas fueron donadas a la investigación por agricultores del municipio de Bucarasica (Norte de Santander), quienes expresaron su preocupación por algunas plagas que afectaban su sustento, por lo que se propuso analizar y clasificar los agentes patógenos, y aislar un agente controlador biológico nativo, que pueda ser fácilmente reproducible y agregado al abono orgánico, para mitigar los niveles de contaminación microbiológica.

El fertilizante fue desarrollado de la forma más práctica, mediante un tratamiento de triturado, enriquecido y posterior fermentación, de manera que el proceso estructurado resulta fácilmente reproducible por el sector campesino. En el transcurso de la investigación, se diseñó un sistema de seguimiento de temperaturas y generación de CO<sub>2</sub>, con el cual se pudo definir el mejor modelo de fermenta-

ción de la torta de biomasa para generar un bocashi digestionado, reduciendo el tiempo de maduración a 12 días, para complementar con procesos de secado y así obtener un abono orgánico seco, con niveles de materia orgánica sobre el 68% y niveles de potasio del 8,3% y sin microorganismos patógenos.

Mediante una serie de análisis microbiológicos, fue posible el aislamiento del agente controlador biológico, que tras pruebas de enfrentamiento, demostró el control de patógenos como el Moko (*Ralstonia-solanacearum*), Sigatoka Negra (*Mycosphaerella-fijiensis*) y Mal de Panamá (*Fusarium-Oxysporum*), y tras su reproducción pudo ser aplicado al fertilizante orgánico, con el fin de prevenir patógenos en el suelo y plantas.

Finalmente concluimos que, con este modelo de aprovechamiento, se minimiza el uso de plaguicidas, fungicidas y bactericidas, así como el uso de insumos inorgánicos nutricionales, con lo que se minimizan los factores de contaminación ambiental por agroinsumos, y se garantiza el cuidado ecosistémico dependiente del cultivo.

**Palabras Clave:** Biomasa residual, abono orgánico fermentado, ciclo sostenible y sustentable, aprovechamiento, control biológico

## Optimización de la producción de péptidos antimicrobianos en fermentación sumergida por lotes de *brevibacillus* sp. PNM157

David Alejandro Cubides Maldonado\*, Brayan Esteban Garzón Vargas, Freddy Alejandro Ramos Rodríguez, Nubia Carmenza Moreno Sarmiento

Estudio y Aprovechamiento de Productos Naturales Marinos y Frutas de Colombia, Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá, Cra 45 #26-85

Grupo de Bioprocesos y Bioprospección, Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá, Cra 45 #26-85

\*Autor de Correspondencia: [dacubidesm@unal.edu.co](mailto:dacubidesm@unal.edu.co)

### Resumen

Para el 2050 se estima una población mundial de 9,7 mil millones de habitantes de tal forma que se proyecta un incremento en la demanda global de alimentos entre el 25 y el 70%. Esto supone un reto en la producción agrícola, considerando el estancamiento en el crecimiento de la eficiencia de los cultivos y los objetivos

2030 de desarrollo sostenible. Anualmente se pierde por encima del 30% de la producción mundial de cultivos por fitopatógenos e incluso se han estimado cifras superiores tan solo atribuidas a hongos. El control biológico es una estrategia sostenible de protección de cultivos y tradicionalmente se ha valido de la diversidad biológica del suelo, no obstante, los microorganismos marinos presentan adaptaciones metabólicas para sobrevivir en ambientes extremos que les confieren una diversidad metabólica tal que en 2019 fueron reportados 240 novedosos productos naturales de bacterias marinas.

*Brevibacillus brevis* sp. PNM157 es una bacteria marina aislada de un octocoral del Caribe colombiano (*Erythropodium*) que presenta actividad antibacteriana y antifúngica frente a diversos fitopatógenos (*Burkholderia* sp, *Fusarium Oxysporum*, *Colletotrichum* sp.), atribuida principalmente a la producción de péptidos antimicrobianos (AMPs). En miras de desarrollar un bioproducto de control biológico se estudió el efecto de la composición del medio de cultivo y las condiciones de fermentación sumergida por lotes sobre la producción de metabolitos bioactivos (AMPs), mediante ensayos OFAT, un diseño Plackett Burmann y una optimización por SRM con un diseño central compuesto (CCD). Se encontró que las condiciones de limitación de oxígeno favorecen la producción de los AMPs y cambian la proporción de los diferentes péptidos, tal que dentro de las condiciones evaluadas a una agitación de 100 rpm, 20% de llenado y una escala de 1L (Erlenmeyer) se alcanzó un incremento del 33,1% con respecto a la condición de máxima agitación. Por otra parte, las fuentes simples de carbono y las fuentes complejas de nitrógeno favorecen el crecimiento, la esporulación y la producción de AMPs, La composición óptima del medio de cultivo corresponde a glicerol (16 g/L), proteína aislada de soya 90% (25 g/L%), extracto de levadura (7g/L), CaCO<sub>3</sub> (2,5 g/L), MgCl<sub>2</sub> (1,3 g/L) y un pH inicial (7), lo cual resultó en un incremento del 83,2% de AMPs respecto al medio basal.

**Palabras Clave:** Brevibacillus, Control biológico, Péptidos antimicrobianos, Plackett-Burmann, Optimización.

## Uso de la liofilización y diferentes formas de extracción para la recuperación del sulforafano procedente del brócoli *brassica oleracea var. Itálica*

Santiago Sánchez Castañeda<sup>1</sup>, Andrés Felipe Suarez Escobar<sup>1</sup>, José Felipe Mendoza Abella\*

<sup>1</sup>Ingeniería Química, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano,

\*Autor de Correspondencia: josef.mendozaa@utadeo.edu.co

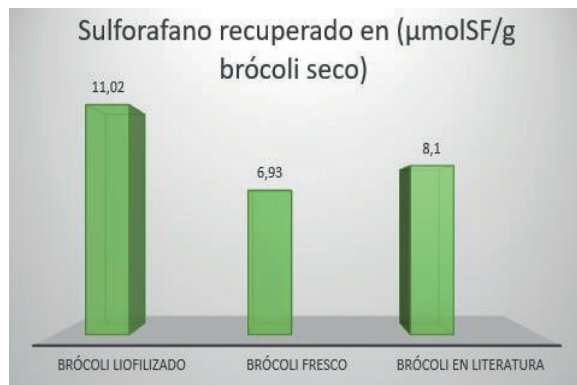
### Resumen

La necesidad de compuestos químico protectores, como el sulforafano que presenta actividad frente a diferentes afecciones antimicrobianas [1], antiinflamatorias [2], anticancerígenas, actuando como activador del gen Nrf2 [3] asociado a la erradicación de radicales libres [4], entre otras. Genera especial interés en su obtención para combatir cada una de las afecciones mencionadas, en este caso se trata solo este compuesto pero lo que se ha visto es que existen muchos compuestos biológicamente activos provenientes de las plantas, conocidos fitoquímicos [5] que llegan a ser de vital importancia para la salud humana. Por tanto, se expone la importancia del consumo de Sulforafano (SF), compuesto proveniente de la reacción de hidrólisis enzimática [6], ejercida por la enzima tioglucosidrolasa [7] llamada mirosinasa (MYR) con ayuda de ácido ascórbico que actúa como coenzima para reaccionar sobre compuestos representativos de los vegetales crucíferos tales como, glicosinolatos (GNs) [8] y este caso en específico sobre la glucorafanina (GF), la cual representa aproximadamente entre el 50 y el 80% de los GNs presentes en el brócoli [9]. Esta reacción requiere de condiciones específicas para que no haya productos no deseados, como su homólogo sulforafano nitrilo (SFN) [10], [11] que a pesar de surgir del mismo compuesto no tiene su potencial actividad biológica. De tal modo, se planteó establecer las condiciones óptimas de extracción SF proveniente del brócoli.

La mayor formación de SF se encuentra cuando, las condiciones genotípicas, de cultivo y postcosecha están debidamente controladas [12] ya que, al ser estos metabolitos secundarios de la planta, están sujetos a la posibilidad bioquímica de la misma para formarlos. De esta manera, en colaboración con el Centro de Biosistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, se mantuvo reproducibilidad en las condiciones genotípicas y precosecha, y con respecto al proceso postcosecha, se quiso determinar las condiciones de pretratamiento para la extracción

de SF y así obtener e identificar los extractos de este mediante HPLC. Por último, proponer las condiciones adecuadas para la obtención de este compuesto aplicables a un proceso a escala industrial.

Para el trabajo de investigación se escogió que la respuesta a obtener es la cantidad en  $\mu\text{mol}$  de SF correspondiente a una masa dada de material vegetal en base seca ( $\mu\text{molSF/g}$  brócoli seco) variando la forma de extracción, utilizando dos reactores diferentes, uno con recirculación, además del uso de la liofilización. Por último, se hicieron ajustes a las condiciones tratadas por [13], [14], [15] para facilidad en el escalamiento industrial, encontrando que se debe realizar un pretratamiento térmico a 55 °C durante 12 minutos y una extracción en ambos reactores de 3 horas a 36 °C colocando en solución la coenzima necesaria para la reacción (ácido ascórbico).



**Figura 1.** Cantidades de SF recuperado para brócoli liofilizado, fresco y encontrado en literatura [13].

En la figura 1 se muestra la comparación del SF encontrado luego de realizar la incubación para brócoli liofilizado, fresco y el resultado encontrado en literatura. Se evidencia que liofilizar el brócoli aumenta las posibilidades de recuperación de SF, dado que al retirar la humedad del material vegetal se favoreció el rompimiento celular generando una mejor interacción entre la GF y la MYR que, al mantener las diferentes condiciones controladas, aumentó la cantidad recuperada con respecto al brócoli fresco y de literatura un 61,875% y 36,05% respectivamente. Por otra parte, funcionaron los cambios haciendo más grande la escala

del proceso, manteniendo una cantidad de SF recuperado alta en el reactor de recirculación.

**Palabras Clave:** Sulforafano, Extracción, Optimización, Hidrólisis, Condiciones.

## Referencias

- N. Johansson, C. Pavia, and J. Chiao, "Growth Inhibition of a Spectrum of Bacterial and Fungal Pathogens by Sulforaphane, an Isothiocyanate Product Found in Broccoli and Other Cruciferous Vegetables," *Planta Med.*, vol. 74, no. 07, pp. 747–750, Jun. 2008.
- L. Subedi, J. H. Lee, S. Yumnam, E. Ji, and S. Y. Kim, "Anti-Inflammatory Effect of Sulforaphane on LPS-Activated Microglia Potentially through JNK/AP-1/NF- $\kappa$ B Inhibition and Nrf2/HO-1 Activation.," *Cells*, vol. 8, no. 2, Feb. 2019.
- L. Yang, D. L. Palliyaguru, and T. W. Kensler, "Frugal chemoprevention: targeting Nrf2 with foods rich in sulforaphane," *Semin. Oncol.*, vol. 43, no. 1, pp. 146–153, Feb. 2016.
- K. Fainstein and M. K. Fainstein, "Nrf2: LA HISTORIA DE UN NUEVO FACTOR DE TRANSCRIPCIÓN QUE RESPONDE A ESTRÉS OXIDATIVO\*," 2007.
- M. Aponte *et al.*, "Fitoquímicos," Caracas, Venezuela., 2008.
- H. Beibei, W. Haiping, Z. Wen, Q. Yang, L. Su, and L. Xixiang, "Development and Application of an Extraction and Quantitative HPLC Method for Sulforaphane in Radish," *Hortic. Plant J.*, vol. 1, no. 2, pp. 101–107, Sep. 2015.
- A. M. Bones and J. T. Rossiter, "The enzymic and chemically induced decomposition of glucosinolates," *Phytochemistry*, vol. 67, no. 11. pp. 1053–1067, Jun-2006.
- M. A. Cortes, "Mariamercedesariascortes.2011\_Tesis Glucosinolatos," Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- C. Bello, M. Maldini, S. Baima, C. Scaccini, and F. Natella, "Glucoraphanin and sulforaphane evolution during juice preparation from broccoli sprouts," *Food Chem.*, vol. 268, pp. 249–256, Dec. 2018.
- N. V. Matusheski, R. Swarup, J. A. Juvik, R. Mithen, M. Bennett, and E. H. Jeffery, "Epithiospecifier protein from broccoli (*Brassica oleracea* L. ssp. *italica*) inhibits formation of the anticancer agent sulforaphane," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 54, no. 6, pp. 2069–2076, Mar. 2006.

- N. V. Matusheski, J. A. Juvik, and E. H. Jeffery, "Heating decreases epithiospecifier protein activity and increases sulforaphane formation in broccoli," *Phytochemistry*, vol. 65, no. 9, pp. 1273–1281, May 2004.
- Z. xin GU, Q. hui GUO, and Y. juan GU, "Factors Influencing Glucoraphanin and Sulforaphane Formation in Brassica Plants: A Review," *Journal of Integrative Agriculture*, vol. 11, no. 11, pp. 1804–1816, Nov-2012.
- A. Mahn and C. Pérez, "Optimization of an incubation step to maximize sulforaphane content in pre-processed broccoli," *J. Food Sci. Technol.*, vol. 53, no. 11, pp. 4110–4115, Nov. 2016.
- C. Pérez, H. Barrientos, J. Román, and A. Mahn, "Optimization of a blanching step to maximize sulforaphane synthesis in broccoli florets," *Food Chem.*, vol. 145, pp. 264–271, Feb. 2014.
- H. Beibei, W. Haiping, Z. Wen, Q. Yang, L. Su, and L. Xixiang, "Development and Application of an Extraction and Quantitative HPLC Method for Sulforaphane in Radish," *Hortic. Plant J.*, vol. 1, no. 2, pp. 101–107, Sep. 2015.

## Modelamiento y simulación de la producción de ácido láctico a partir de lactosuero procesado

Juan C. González-Téllez<sup>1</sup>, Carlos J. Muvdi-Nova<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos CICTA,  
Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [cjmuvedi@uis.edu.co](mailto:cjmuvedi@uis.edu.co)

### Resumen

La conversión del lactosuero en ácido láctico se proyecta como una estrategia de potencial interés para Colombia; en ese sentido, la selección del modo de operación es clave para el diseño del proceso. En el marco de este trabajo, las cinéticas experimentales obtenidas en *batch* se ajustaron a un modelo matemático no estructurado, descrito por la ecuación logística para el crecimiento microbiano, la expresión de *Luedeking-Piret* para la producción de ácido láctico, y la de consumo de sustrato en función de los aportes para generación de biomasa, producción de ácido láctico y mantenimiento celular. De esta manera, fue posible simular el modo *fed-batch*, observándose un incremento en la concentración final de ácido láctico, pero con una drástica reducción en su productividad (1,0 g/dm<sup>3</sup>.h); sugiriendo así, que el modo *batch* sería más conveniente para la producción de ácido láctico, bajo las condiciones analizadas, debido a su alta productividad (2,9 g/dm<sup>3</sup>.h).

**Palabras Clave:** Modelamiento; Fermentación; Lactosuero procesado; Ácido láctico. Sesión: Bioprocesos.

## Evaluación de cáscaras de papa, yuca y plátano como sustratos para la producción de amilasas por *Bacillus amyloliquefaciens* A16

Juan Pablo Heredia Martín<sup>1</sup>, Etna Milena Sánchez Castelblanco<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Procesos Industriales, Semillero de Investigación en Biotecnología, Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, Calle 15 # 31 – 42, Bogotá - Colombia

\*Autor de Correspondencia: etnamilena@misena.edu.co

### Resumen

Las amilasas son enzimas capaces de romper los enlaces glicosídicos  $\alpha$ -1,4 presentes en el almidón, produciendo cadenas de polisacáridos más cortas de amilosa y amilopectina, siendo la glucosa el producto final de la degradación. Por tal razón las amilasas son usadas industrialmente para producir jarabes de glucosa a partir del almidón, produciendo además en algunos casos alcohol por vías fermentativas. Las amilasas también son utilizadas en la industria textil, del papel y para la degradación de contaminantes en vertimientos. Las bacterias son los microorganismos más utilizados en la industria para la obtención de estas enzimas por su fácil crecimiento y buen rendimiento de producción. La producción industrial de amilasas se hace principalmente a partir de *Bacillus* sp., *Clostridium* sp., *Aeromonas* sp. y *Pseudomonas* sp., usando como fuente de almidón sustratos estándar o comerciales. Ya se ha estudiado la utilización de residuos agroindustriales con contenido de almidón como sustratos para la producción de amilasas ya que estos son una alternativa que contribuye a mitigar el impacto ambiental de su disposición así reduciendo costos de producción. El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial uso de cáscaras de papa (CPP), yuca (CY) y plátano (CP) como sustratos, estableciendo la mejor opción entre estos tres residuos para la producción de amilasas bacterianas a partir de *Bacillus amyloliquefaciens* A16, bacteria aislada del suelo del humedal de la Conejera en Bogotá. Para esto se determinó la concentración de almidón de los residuos y a partir de estos se formularon tres diferentes medios de cultivo a pH de 7,0 a una concentración final de almidón entre el 0,15 % y el 0,25 % p/v. Los medios fueron inoculados con *Bacillus amyloliquefaciens* (Aislamiento A16) y se realizaron fermentaciones por duplicado durante 36 horas a 37°C. Como control positivo (C+) para la producción de amilasas se realizó una fermentación en un caldo de almidón soluble a concentración de 1 % p/v bajo las mismas condiciones y como control negativo (C-) se incubaron los medios de cultivo sin inocular. Cada 12 horas se tomaron muestras del

cultivo para evaluar cualitativamente la degradación del almidón con la adición de Lugol y para determinar las actividades amilolíticas, se cuantificó la producción de azúcares reductores (glucosa) por la técnica del ácido 3-5 dinitrosalicílico o DNS. La actividad enzimática más alta se obtuvo en el medio CP luego de 36 horas (50,13 U/mL), siendo similar a la obtenida en el C+ (53,81 U/mL), es decir, la actividad de las amilasas producidas en el medio CP con almidón al 0,25% p/v es comparable a las producidas en el caldo almidón al (1% p/v). Adicionalmente, el estudio demuestra que los residuos de CP permiten la producción de amilasas con mayor actividad a las producidas en CPP y CY luego de 36 horas de cultivo, siendo CP la mejor opción de sustrato para la producción de enzimas.

**Palabras Clave:** Amilasas, residuos agroindustriales, *Bacillus amyloliquefaciens*, almidón.

## CAPÍTULO II: Economía circular

---

*Líder de línea temática:*

**José Alejandro Martínez Sepúlveda**

Universidad EAN

Los resúmenes incluidos en esta línea temática abordaron estrategias novedosas de economía circular. La economía circular se ha introducido en el país para generar crecimiento económico mediante el aprovechamiento de los residuos, y el papel del ingeniero químico es vital para escalar estas ideas de negocios a sistemas industriales rentables y comprometidos con la conservación del medio ambiente. Entre las investigaciones presentadas, se destaca un modelo para el cierre del ciclo de materia orgánica en restaurantes escolares usando una técnica de compost conocida como pacas digestoras. También se estudió el uso de neumáticos desechados como fuente de Negro de Carbono pirolítico recuperado, y se analizaron las cinéticas de reacción asociadas. Los esfuerzos investigativos en esta área se han articulado con otros enfoques como el de economía verde y biorrefinería para desarrollar plataformas sostenibles en Colombia tal como es "BIOPRODPACIFIC", una herramienta útil para acelerar el diseño de bioprocesos integrados y sostenibles cimentados en el principio de economía circular.

## Evaluación de las cargas ambientales asociadas a la síntesis catalítica heterogénea de nopol mediante análisis de ciclo de vida

Luis Alfonso Gallego Villada<sup>1</sup>, Christian Hasenstab<sup>2</sup>, Edwin Alexis Alarcón<sup>1\*</sup>, Aída Luz Villa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Catálisis Ambiental, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Antioquia, Calle 70 No. 52-21, Medellín, Colombia.

<sup>2</sup>Escuela de Ingeniería, Universidad EAFIT, Carrera 49 No. 7 sur 50, Medellín, Colombia.

\*Autor de correspondencia: [edwin.alarcon@udea.edu.co](mailto:edwin.alarcon@udea.edu.co)

### Resumen

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta que permite evaluar los impactos de los procesos vinculados con un producto o servicio desde la cuna al medio ambiente para así determinar indicadores ecológicos para su sostenibilidad. Con este trabajo se identificó la etapa más crítica respecto al impacto ambiental, en la síntesis catalítica de nopol utilizando catálisis heterogénea (Sn/MCM-41). Este proceso es de gran importancia debido a que el nopol es un alcohol monoterpénico de alto valor agregado, obtenido a partir de fuentes de  $\beta$ - pineno, las cuales pueden extraerse de biomasa vegetal como pinos. El nopol tiene diversas aplicaciones en la industria de aromas y fragancias, agroquímicos, farmacéuticos y productos de hogar. La importancia de este trabajo radica en la notable ausencia de literatura respecto a este tipo de procesos, mostrando un área de investigación muy promisoría que relacione la sostenibilidad, la catálisis y la química fina. El ACV se desarrolló de acuerdo con la estructura metodológica de la norma internacional ISO 14044 y tuvo un alcance “cuna a puerta” puesto que se evaluó desde la extracción de materias primas hasta la obtención del nopol, definiéndose 1 kg de nopol como unidad funcional. El inventario de ciclo de vida (balances de materia y energía del proceso) se realizó de acuerdo con datos primarios y secundarios, es decir, a partir de información obtenida experimentalmente y de la literatura, respectivamente. Se empleó ReCiPe como metodología para la Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (EICV) utilizando el software Umberto LCA+ con la base de datos Ecoinvent v3.5. De acuerdo con la EICV, los resultados mostraron que los impactos ambientales más importantes en el proceso son los relacionados con la síntesis de las materias primas, siendo el agotamiento de fósiles, el cambio climático, la formación de material particulado y la toxicidad humana, las categorías de impacto que más contribuyen a las categorías de daño. La producción del solvente (acetato de etilo) es el proceso

que genera mayores cargas ambientales en la síntesis de nopol. Como opciones para disminuir las cargas ambientales del proceso de producción de nopol, se propone evaluar la recirculación, disminución o sustitución del solvente.

**Palabras Clave:** Análisis de Ciclo de Vida (ACV), nopol, catálisis heterogénea, solvente, Umberto.

## Evaluación de carbones activados para la adsorción de compuestos fenólicos en licores de autohidrólisis

Rolando Acosta<sup>1</sup>, Katherine Fernández<sup>1</sup>, Debora Nabarlatz<sup>\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química, Carrera 27 N° 9, Bucaramanga, Colombia.

<sup>\*</sup>Autor de Correspondencia: dnabarla@uis.edu.co

### Resumen

Colombia es un país con un gran potencial agrícola, donde el 48.7% del área sembrada corresponden a cultivos agroindustriales (café, palma de aceite, caña de azúcar, entre otros). En general, las cadenas agroindustriales generan una gran cantidad de residuos, como el bagazo de caña panelera (BCP) y el pergamino de café (PC), los cuales quedan depositados en los propios cultivos o en los centros de acopio del producto. Como alternativas de valorización de estos residuos, en trabajos previos se propuso la extracción de la fracción hemicelulósica para la producción de xilooligosacáridos con potencial prebiótico. En este sentido, el sólido remanente luego de la reacción (con un rendimiento entre el 72.3 y 82.2%p. de la masa inicial para BCP y PC, respectivamente), presenta altos contenidos de glucosa (>29.2%p.) y lignina (23.1%p.). Por esta razón, se propone utilizar estos sólidos remanentes como materia prima para la producción de carbones activados. Para tal fin, se realizó un proceso de activación química usando como agente activante  $H_3PO_4$  en atmósfera inerte con  $N_2$ , analizando el efecto de la temperatura y el tiempo de activación sobre las características texturales de los carbones a obtener. Teniendo en cuenta que los licores obtenidos luego del proceso de autohidrólisis contienen los oligosacáridos de interés, así como productos de degradación tales como el furfural y compuestos fenólicos, el carbón activado con mejores características texturales (obtenido a partir de pergamino de café) fue evaluado para la adsorción de estos compuestos, presentando una capacidad máxima de adsorción de 244,1 mg polifenoles/g carbón, equivalente

a una remoción del 21.7%. Esto permitiría el uso de estos carbones activados dentro del proceso de purificación de los licores de autohidrólisis.

**Palabras Clave:** xilooligosacáridos, carbones activados, biomasa residual, polifenoles.

## Actividad lignocelulolítica de microorganismos asociados a pilas de compostaje de residuos verdes

*Angélica Angarita<sup>1</sup>, Lesly Rodríguez<sup>2</sup>, Viviana Sánchez<sup>3</sup>, Edgar Oviedo<sup>4</sup>.*

Grupo de Investigación en Minerales, Biohidrometalurgia y Ambiente – GIMBA, Grupo de Investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento – GPH, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, UIS, Cra 27 No. 9, Bucaramanga, Santander.

Autor de Correspondencia: [maria2198564@uis.edu.com](mailto:maria2198564@uis.edu.com)

### Resumen

Colombia genera alrededor de 11,6 millones de residuos sólidos de los cuales se aprovecha solo el 17% reciclando, y los residuos orgánicos domiciliarios y residuos verdes de jardinería, son incinerados o dispuestos en rellenos sanitarios sobresaturados con un impacto ambiental negativo. Se estima que en 10 años la producción de desechos de los colombianos aumentará en un 20% al ritmo vigente de consumo, por lo tanto, se hace indispensable la búsqueda e implementación de tecnologías que permitan solucionar el creciente problema de la generación y disposición final de estos residuos. La Universidad Industrial de Santander sede Bucaramanga, de sus labores de jardinería produce en promedio 732,5 kg de residuos verdes por día. Como alternativa de manejo se propone el proceso de compostaje, que con la acción de microorganismos ayuda a reducir y transformar los residuos orgánicos en un material estable e higienizado (compost) utilizado como abono.

Los residuos verdes presentan un alto contenido de lignina e hidratos de carbono (celulosa, hemicelulosa, azúcar simple, almidón, etc.) de difícil descomposición que son degradados en moléculas más pequeñas durante el proceso de compostaje, gracias a la producción de enzimas de origen microbiano. De esta forma, el aislamiento e identificación de microorganismos productores enzimas como amilasas, celulasas y xilanasas; y el análisis preliminar de su actividad enzi-

mática, permite entender la dinámica de bioconversión de los residuos y generar estrategias que mejoren el proceso, con la intención de evaluar si la inoculación con las cepas aisladas disminuye el tiempo de composta y mejora la calidad del producto final. Las enzimas de origen microbiano por ser extracelulares no necesitan técnicas de ruptura para su extracción, hecho que le da un valor agregado al proceso al ofrecer la posibilidad de producir enzimas provenientes de cepas nativas, valiosas en procesos biotecnológicos en la industria textil, de detergentes, pulpa y papel, cervecera y vino, alimentos para animales, agricultura y por supuesto, con fines investigativos.

Entre el año 2002 y 2018 se reportan estudios que demuestran el creciente interés de la comunidad científica en la disminución de los tiempos de compostaje y calidad del producto final. Existe un futuro prometedor en cuanto a la optimización del proceso utilizando diferentes estrategias operativas dentro de las que se encuentra la adición de inóculos microbianos. Sin embargo, Colombia reporta solo 2% de investigaciones respecto a la optimización del proceso. Como resultado se aislaron 306 microorganismos y se preservaron 29 por su potencial de degradación, identificándose cepas del género *Bacillus*. La mayor actividad enzimática se registró para degradar xilano y las mejores condiciones de degradación de amilasas, celulasas y xilanasas fueron: pH 6 y 60°C, pH 8 y 50°C, pH 8 y 60°C, respectivamente, después de 60 min de reacción. Las cepas con mayor potencial de degradación fueron aisladas de una pila de compostaje tradicional enmendada con residuos de alimentos y roca fosfórica.

**Palabras Clave:** compostaje, residuos verdes, amilasas, celulasas, xilanasas.

## “BioprodPacific”: una plataforma para acelerar el diseño de bioprocesos integrados y sostenibles en Colombia.

Nelson H. Caicedo<sup>1\*</sup>, Carlos A. Alvarez<sup>2</sup>, Andres Ceballos<sup>1</sup>, Carolina Orozco<sup>1</sup>, Erika Y. Ortiz<sup>1</sup>, Carlos Rengifo<sup>1</sup>, Leonardo Rubiano<sup>1</sup>, Andrés Vargas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>iCUBO, Departamento de Ingeniería Bioquímica, Universidad Icesi, Calle 18 No. 122-135 Pance, Cali - Colombia

\*Autor de Correspondencia: [nhcaicedo@icesi.edu.co](mailto:nhcaicedo@icesi.edu.co)

### Resumen

Hace cinco años, la Universidad Icesi ubicada en Cali, hizo un gran trabajo para el futuro de Colombia a través de la apertura de su programa de pregrado de Ingeniería Bioquímica, que tenía, entre otros propósitos, capacitar a profesionales para satisfacer las necesidades de las industrias de base biotecnológica ubicadas en la región. Para esto, el personal del departamento concibió y diseñó una planta piloto llamada “BioProdPacific” que, después de ser construida a principios de 2019, se consolidó como una herramienta útil para enseñar y desarrollar (investigación e innovación) nuevos bioprocesos y esquemas de biorrefinería que utilizan biomásas residuales de las industrias locales.

En la planta piloto se han desarrollado diferentes proyectos de grado y se está probando un esquema de biorrefinería para la cáscara de Chontaduro (“Validación de la plataforma tecnológica BioProdPacific para la valorización de residuos agroindustriales del Valle del Cauca mediante una aproximación de biorrefinería”, financiado por Colciencias en la convocatoria 2117-240-64766). La cáscara de Chontaduro (*Bactris gasipaes*) es el residuo primario originado del consumo de este fruto y debido a su cantidad significativa representa un problema ambiental que puede convertirse en una oportunidad de crecimiento económico. El esquema propuesto de biorrefinería puede utilizar todos los componentes principales de la cáscara de Chontaduro (es decir, almidón, celulosa, hemicelulosa, lípidos, entre otros) para producir una amplia gama de bioproductos que incluyen ácido succínico (captura de CO<sub>2</sub>), polifenoles, biosurfactantes, carotenoides, alimentos para animales y antioxidantes. Nuestro esquema de biorrefinería utiliza fermentación, biocatálisis y extracción con solventes utilizando principios de economía verde y economía circular para dar valor a los desechos agrícolas y mitigar su huella de carbono. Además, las instalaciones de la planta piloto (áreas

up-stream, de transformación y down-stream) apoyan varios cursos de programas de pregrado y posgrado para desarrollar competencias en estudiantes de ingeniería bioquímica bajo la alineación de los resultados ABET (Accreditation Board of Engineering and Technology).

**Palabras Clave:** Biorrefinería, Bioprocesos, Planta piloto, Economía Circular, Economía verde

## Cierre de ciclo para la materia prima orgánica en el restaurante escolar de la Institución Educativa Antonio Derka Santo Domingo

*Maria C Solorzano<sup>1</sup>\*, Diana L Grajales<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Ingeniería Química, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [maria.solorzano@udea.edu.co](mailto:maria.solorzano@udea.edu.co)

### Resumen

Al analizar un proceso, desde el punto de vista de los balances de masa, se puede llegar a identificar el no aprovechamiento de muchas materias primas, como los residuos orgánicos de cocina en el restaurante escolar de la Institución Educativa Antonio Derka-Santo Domingo. Durante el análisis, los residuos orgánicos generados en la cocina llegaron a ser de aproximadamente 348,4 Kg, de los cuales 129,1 Kg fueron usados para llevar a cabo una técnica de obtención de compost, llamada pacas digestoras. Con ayuda de esta técnica se logró incrementar la eficiencia del proceso de producción de alimentos del 86% al 88%. Con la disposición de los residuos orgánicos se logra cerrar el ciclo del proceso para la materia prima orgánica, obteniendo beneficios positivos para la institución, el proceso y el medio ambiente.

**Palabras Clave:** Gestión de residuos, pacas digestoras, cierre de ciclo, aprovechamiento materia prima. Sesión: Economía circular.

## Obtención de furfural mediante proceso catalítico heterogéneo a partir de pasto camerún morado (*Pennisetum purpureum cv. Morado*)

Iván A. Ortiz C.<sup>1\*</sup>, Yineth Piñeros-Castro<sup>1</sup>, Laura R. Conde<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Ingeniería de Procesos y Sistemas Industriales, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Maestría en Ingeniería de Procesos y Sistemas Industriales, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Carrera 4 22-61, Bogotá-Colombia

\*Autor de Correspondencia: [ivan.ortizc@utadeo.edu.co](mailto:ivan.ortizc@utadeo.edu.co)

### Resumen

El cultivo de *Pennisetum purpureum cv. Morado*, ostenta un rápido crecimiento con un potencial significativo como fuente de materias primas y energía renovable, requiere de pocos nutrientes suplementarios para su crecimiento y se puede cosechar hasta cuatro veces al año con un rendimiento de hasta 144,8 Ton/Ha al año, en tiempos relativamente cortos de cosecha de 10 a 12 semanas. Para su aprovechamiento es necesario el uso de tecnologías sostenibles, dentro de las cuales se encuentran los procesos catalíticos heterogéneos. El pasto Camerún cuya composición está dada por oligo y/o polisacáridos (36,2% celulosa, 22,3% hemicelulosa y 23% lignina), con enlaces glucosídicos entre monómeros de azúcar, estos enlaces se hidrolizan en primer lugar para despolimerizar las cadenas de carbohidratos, y luego las pentosas liberadas pueden convertirse en furfural mediante la reacción de deshidratación de pentosas. En este trabajo se realizó la evaluación de la producción de furfural a partir de pasto Camerún,, utilizando un catalizador de carbón activado sulfonado estañado (CA-S-Sn) derivado de cascarrilla de cacao, empleando tolueno como co-disolvente, con una relación de 1:1.5 (Tolueno/Agua) (v/v), 0,75:1 (Catalizador/Biomasa) (p/p), 170 °C y 3 horas de reacción. Se realizó el mismo ensayo utilizando xilosa equivalente a la hemicelulosa presente en el material. Se obtuvo producción de 223 mg de furfural/g de xilosa en el control mientras que utilizando biomasa se obtuvo 312 mg/g de hemicelulosa, equivalente a 69,6 mg/g de biomasa. Comparando los valores encontrados con los rendimientos teóricos, se encontró una eficiencia del 48,8% con biomasa. Se concluye que el catalizador evaluado permite la producción de furfural, por lo que se recomienda estudiar condiciones de proceso, en las que se tenga en cuenta diferentes temperaturas y tiempos de proceso, entre otros.

**Palabras Clave:** furfural, biomasa, catálisis heterogénea, sostenibilidad

## Optimización de las rutas de recolección de aceite usado de cocina en bogotá para su uso como materia prima oleoquímica

Juan Sebastián Rodríguez Flórez<sup>1\*</sup>, Álvaro Orjuela<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de investigación en procesos químicos y bioquímicos, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Cra 30 No. 45-03 Bogotá, Colombia

\*Autor de Correspondencia: jsrodriguezf@unal.edu.co

### Resumen

Actualmente, la adecuada disposición de residuos es uno de los mayores retos de las megaciudades a nivel mundial. Particularmente en los países en vías de desarrollo, la falta de regulaciones y marcos legales adecuados ha dado lugar a la generación de grandes impactos ambientales y económicos asociados a la disposición no controlada de dichos residuos. Entre los residuos que representan mayor reto para el manejo y disposición en las áreas urbanas son los aceites de cocina usados (ACU). Este residuo ha generado varios problemas, tanto económicos, sociales y ambientales, en la ciudad de Bogotá, Colombia.

Con el propósito de reducir los problemas relacionados con la disposición incorrecta del ACU, varias de las mayores compañías productoras de aceite de Colombia han implementado programas de recolección y valorización de esta materia prima. En la actualidad los ACU son recolectados para ser usados como materia prima para la producción jabones y biodiesel. Sin embargo, estos son productos de bajo valor agregado generando inestabilidad a largo plazo debido a los bajos márgenes de ganancia. De forma alternativa, los ACUs se podrían transformar en derivados oleoquímicos de alto valor agregado, lo que permitiría garantizar la sostenibilidad de los esquemas de recolección y valorización.

Si bien la propuesta de aprovechamiento y valorización del ACU parece seguir principios de sostenibilidad, es necesario establecer los impactos generados durante la etapa de recolección. En esta dirección este trabajo se enfocó en la caracterización y la optimización de la cadena de suministro hacia centros de acopio y refinación con el propósito de disminuir los impactos asociados a esta actividad. La caracterización del proceso de recolección permitió determinar volúmenes de ACU disponible y ubicación de los proveedores, frecuencia de recolección, rutas del esquema implementado actualmente, y tecnologías utilizadas.

Posteriormente, la optimización se planteó como un problema de enrutamiento de vehículos solucionado por un algoritmo genético adaptado a cadenas de combinaciones. De este planteamiento se obtuvieron costos de transporte, volúmenes de recolección y disponibilidad de la materia prima para una posterior integración en una red de suministro en la transformación en productos oleoquímicos de mayor valor agregado.

**Palabras Clave:** Optimización, cadena suministro, aceite de cocina usado, ACU.

## Estudio cinético de activación de neumáticos fuera de uso como estrategia de economía circular

*Alejandro Gutiérrez<sup>1</sup>, Ana Bello<sup>1</sup>, Cindy Arenas<sup>1</sup>, Juan Daniel Martínez<sup>1</sup>, Mariluz Betancur<sup>\*</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigaciones ambientales (GIA), Facultad de ingeniería química, Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia

<sup>\*</sup>Autor de Correspondencia: [mariluz.betancur@upb.edu.co](mailto:mariluz.betancur@upb.edu.co)

### Resumen

La inadecuada disposición de residuos sólidos de difícil manejo como son los neumáticos fuera de uso (NFU) generan problemas para la salud pública y el medio ambiente. En este sentido, la pirólisis de NFU puede considerarse como una estrategia de economía circular, basada en el aprovechamiento de los subproductos de alto valor añadido que se obtienen tales como: gas, líquido y sólido (denominado en este trabajo como Negro de Carbono pirolítico recuperado (NCpr)), este último como precursor para la síntesis de carbón activado y con ello su utilización en procesos de adsorción para la remoción de contaminantes en el aire y el agua. En este sentido, el objetivo principal de este proyecto de investigación fue evaluar tres modelos cinéticos estructurales de activación del NCpr para predecir no solo la curva de conversión ( $X$ ) versus tiempo ( $t$ ), sino también la velocidad de reacción ( $dX/dt$ ) versus conversión ( $X$ ); los modelos utilizados fueron el Changing Grain Size Model (CGSM), el Random Pore Model (RPM) y un nuevo denominado Hybrid Modified Random Pore Model (HMRPM). Para esto se realizó la caracterización del NCpr mediante análisis elemental, análisis próximo y composición de cenizas, seguido de ensayos de activación del NCpr en un analizador termogravimétrico bajo atmósferas  $CO_2/N_2$  (20/80, 25/85 y 30/70% vol) a diferentes temperaturas (825, 850, 875, 900 y 925 °C). Por último, se ajustaron los tres modelos y se hallaron los parámetros cinéticos como son la constante

cinética global ( $ki$ ), el orden de reacción ( $n$ ), la energía de activación ( $Ea$ ) y el factor preexponencial ( $A$ ) para los que se encontraron valores de 147.27 kJ/mol,  $4.547 \times 10^5 \text{ min}^{-1}$  y 0.543, respectivamente. Los resultados sugieren que el HMRPM fue el modelo con mejor ajuste debido a su capacidad para reproducir tanto  $X$  como  $dX/dt$  con una desviación media (MAPE) menor entre los demás de aproximadamente 1.62 y 6.76%, respectivamente. Además, cabe resaltar que dicho modelo tiene la capacidad de predecir el comportamiento de la disminución drástica en la velocidad de reacción cuando la conversión es menor al 20%, lo cual se atribuye a un posible efecto de materia volátil y compuestos inorgánicos contenidos en el NCpr. Es así como, el desarrollo de este proyecto evidencia que la pirólisis de NFU es una estrategia alineada al concepto de economía circular, ya que de esta manera se cierra su ciclo y se obtienen productos de interés para diferentes industrias como el carbón activado.

**Palabras Clave:** activación, pirólisis, neumáticos fuera de uso, modelos, cinética.

## Clarificación de mucílago de café como materia prima potencial para la industria de alimentos

*Luis David Sierra López<sup>1</sup>, Luz Deisy Marín-Palacio<sup>1</sup>, Catalina Giraldo-Estrada<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Procesos Ambientales - GIPAB, Departamento de Ingeniería de Procesos, Universidad EAFIT, Carrera 49 # 7Sur 50

\*Autor de Correspondencia: [cgiraldo@eafit.edu.co](mailto:cgiraldo@eafit.edu.co)

### Resumen

El café es una de las bebidas más consumidas a nivel mundial, representando uno de los productos alimenticios más comercializados en el mercado internacional. Esta industria en Colombia, con una producción en 2019 de aproximadamente 885ton, genera alrededor de 92% de residuos en su beneficio e industrialización, los cuales ocasionan problemas medioambientales cuando se tratan inadecuadamente por sus valores de acidez, contenido de sólidos y demanda química de oxígeno. Uno de estos es el mucílago de café, el cual constituye alrededor del 14% del peso del fruto de café fresco y se estima una producción de 768 kg. ha  $-\text{año}^{-1}$ ; este contiene proteínas, pectinas y compuestos fenólicos que son sustancias de gran valor para el área de la salud por su ac-

tividad antioxidante, exhibiendo actividades fisiológicas como antiinflamatorio, antimicrobiano, anticancerígeno y prevención de accidentes cerebrovasculares.

Como una alternativa para la diversificación productiva, la agregación de valor en el sector rural y la mitigación de impacto ambiental, se plantea el aprovechamiento de antioxidantes en el mucílago de café como materia prima para diversos procesos productivos mediante operaciones de clarificación, mejorando su procesabilidad, calidad, turbidez y aceptación del producto en la industria de alimentos.

En este sentido, se han reportado procesos de clarificación en jugo de granada, fruta con alto contenido de antioxidantes, evidenciando que no se afectó significativamente la concentración de compuestos fenólicos. Con base en la literatura revisada, esta investigación es el primer reporte que evalúa condiciones de operación de tratamientos fisicoquímicos y enzimáticos en la clarificación de mucílago de café.

Adicionalmente, se ha encontrado que procesos de clarificación de este tipo de compuestos empleando agentes arcillosos pueden alcanzar rendimientos cercanos al 50%, con tiempos entre 12 y 24h, considerándose un cuello de botella y aumentando el riesgo de contaminación microbiana, lo cual compromete las características y calidad del material.

Como una posibilidad para reducir el tiempo de proceso, se plantea un diseño de experimentos factorial  $2^4$  con punto central, evaluando diferentes condiciones de operación tales como temperatura, tiempo, pH, concentración y tipo de agente clarificante, así como el efecto del tratamiento sobre la turbidez, concentración de fenoles totales, proteínas y carbohidratos; además, se evaluó el efecto de la filtración sobre estas variables. Los resultados obtenidos permitieron seleccionar el tratamiento con pectinasas como el mejor agente clarificante, con una reducción superior al 60% en el tiempo de clarificación del mucílago de café. Por otro lado, este tratamiento presentó una disminución de turbidez cercana al 64% sin afectar significativamente la concentración de fenoles totales en el producto final y presentando un rendimiento de recuperación en volumen de mucílago clarificado del 80%. Los resultados indican que la concentración de pectinasas y el pH del mucílago fueron los factores que más afectaron la clarificación. Las

condiciones de tratamiento enzimático recomendadas son pH entre 4 y 5, temperatura superior a 18°C, tiempo inferior a 50min y concentración menor a 10%. Este proceso logró reducir el costo de tratamiento del mucílago en un 17%.

**Palabras clave:** mucílago de café, clarificación, subproductos del café, tratamientos enzimáticos, tratamientos fisicoquímicos

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

*Carlos Alfredo Camargo Vila<sup>1</sup>, Fredy Augusto Avellaneda Vargas<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), Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Carrera 27 Calle 9 Ciudad Universitaria

\*Autor de Correspondencia: carlos-2695@hotmail.com

### **Resumen**

Actualmente los altos índices de consumo de los derivados del petróleo han desencadenado una aumentando los gases contaminantes arrojados a la atmósfera, generando graves problemas globales como el cambio climático. Por esta razón se hace necesario el ahorro en el uso y 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, así como los aceites de fritura reciclado se presentan como una alternativa interesante para producir biocombustibles y/o biolubricantes, lodos de perforación, biosurfactantes 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 2018 se sacrificaron en Colombia 3.439.252 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, resultando en aproximadamente más de 300 millones de kg de grasas residuales.

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, así como olores nocivos para la salud. 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 5 y 40mg de KOH/g de sebo hasta por debajo de los 2mg 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, así como su posible aplicación en lodos de perforación.

Se eligió la metodología de superficie de respuesta de Draper y Lin (diseño compuesto reducido que consiste en un factorial fraccionado); se tuvo en cuenta cuatro parámetros: relación molar alcohol: sebo, concentración de catalizador, temperatura y tiempo de reacción. Se realizó el montaje con 50g de sebo bovino crudo para cada muestra en baño maría para controlar la temperatura, así como reflujó para evitar pérdidas de metanol por calentamiento. Se obtuvo un índice de acidez cercano a 1mg KOH/g sebo con un rendimiento del 93% a una relación molar de 7,5:1, 1.25%p/p de catalizador ( $H_2SO_4$ ), temperatura de 63°C y 150min de tiempo de reacción.

Por lo tanto, se puede inferir que la pre-esterificación 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 38mg KOH/g sebo a valores por debajo de 2mg KOH/g sebo, obteniendo así una materia prima de calidad que podría ser utilizada potencialmente como precursor de biodiésel, biolubricantes o aditivos para la formulación de lodos de perforación, lo cual se sugiere estudiar con profundidad debido a la utilidad y valor agregado que podría adquirir esta materia prima.

**Palabras Clave:** Sebo bovino, pre-esterificación ácida, índice de acidez, acondicionamiento de aceites, catálisis ácida.

## Uso del método Karl Fischer coulombimétrico en la certificación de gases refrigerantes regenerados bajo los lineamientos de la Norma AHRI 700

*Cesar Alejandro Isaza Roldan<sup>1</sup>, David González Sánchez<sup>1</sup>, Deibinson Arango Trujillo<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Centro de investigación, desarrollo y calidad en refrigeración y climatización, Antioquia, Universidad Pontificia Bolivariana, Circula 1 N° 70-01.

\*Autor de Correspondencia: laboratorio.quimica@upb.edu.co

### Resumen

La valoración coulombimétrica de Karl Fischer es un método altamente implementado en las diferentes ramas del sector industrial interesados en conocer la concentración de agua contenida en sus productos debido a las posibles reacciones de descomposición que puedan sufrir. En el centro de regeneración de refrigerantes de la Universidad Pontificia Bolivariana, el sistema coulombimétrico de Karl Fischer es utilizado para cuantificar la concentración de agua en los gases refrigerantes regenerados bajo los lineamientos estipulados en la norma AHRI 700, certificando que el gas refrigerante regenerado no va a degradar los sistemas en los cuales se utiliza.

**Palabras Clave:** Valoración coulombimétrica Karl Fischer, gases refrigerantes, regeneración, norma AHRI 700.

## Fortalecimiento de la agroindustria de *Cannabis Sativa L.* a través del aprovechamiento de los residuos generados para la obtención de extractos ricos en compuestos fenólicos y capacidad antioxidante

Guillermo Vega<sup>1</sup>, Javier Dávila<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de investigación en ingeniería de procesos y sistemas industriales, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Carrera. 4 # 22-61

\*Autor de Correspondencia: javiera.davilar@utadeo.edu.co

### Resumen

La agroindustria del Cannabis legal en Colombia ha tenido un gran auge en los últimos años. El presente trabajo busca darle un valor agregado a la cadena de producción de la planta *Cannabis sativa L.*, aprovechando la biomasa residual que comprende tallos y hojas, analizando el contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) junto con su capacidad antioxidante (TAC). Se realizó un diseño factorial 2<sup>3</sup>, utilizando como variables tiempo de extracción (T), tamaño de partícula (TP) y relación solido-solvente (Rss). Las extracciones fueron realizadas con equipo Soxhlet utilizando etanol al 96% como solvente. Se realizó un ajuste mediante mínimos cuadrados para obtener una correlación que describe la influencia de las variables independientes (T,TP y Rss) sobre las variables de respuesta (TPC, TAC) donde, se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.940 para la variable TPC y un coeficiente de correlación de 0.387 para la variable TAC. La concentración máxima de TPC encontrada fue de 1264.61 mg GA/g DW con las condiciones de relación solido solvente de 1/40, tiempo de extracción de 8 horas y tamaño de partícula de 109.28 µm. La mayor TAC obtenida fue de 0.467mM, en las condiciones de tiempo de extracción de 8h, tamaño de partícula de 109.28 µm y una relación solido solvente de 1/30. Adicionalmente se encontró la presencia de aceite en los extractos cannábicos los cuales se les realizó FITR obteniendo la presencia de enlaces C-OH asociados a alcoholes, fenoles y posibles cannabinoides. La planta *Cannabis sativa L.* tiene un gran potencial de aportar un valor agregado a la agroindustria debido a su contenido total de fenoles y su capacidad antioxidante asociada.

**Palabras Clave:** Cannabis sativa L, extracción Soxhlet, superficie de respuesta, compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante.

## CAPÍTULO III: Educación en Ingeniería Química

---

*Líder de línea temática:*

**Andrés Fernando González Barrios**

Universidad de los Andes

La educación en ingeniería química ha experimentado una transición acelerada hacia la virtualidad, y la renovación digital se identificó como uno de los nuevos panoramas en Ciencia y Tecnología. En este capítulo se detallan casos de éxito en el uso de plataformas digitales para la difusión de contenido en ingeniería química. Uno de ellos corresponde al canal de YouTube llamado Ingeniería Química Fácil, como herramienta de consulta académica por parte de jóvenes universitarios de Latinoamérica. Adicionalmente, se abordó una nueva alternativa de interacción internacional a través de Global Classroom soportada por metodologías pedagógicas de aprendizaje con investigación y desarrollo (I + D) en medio de cursos cotidianos de formación en ingeniería. Estas nuevas estrategias revelan la transformación exitosa de modelos de educación apoyados en herramientas digitales.

## Evaluación del consumo de contenidos de educación en ingeniería química vía Youtube: Caso ingeniería química fácil

Ángel González-Delgado<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Nanomateriales e Ingeniería de Procesos Asistido por Computador (NIPAC), Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Avenida del consulado Calle 30 No. 48-152, Cartagena, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [agonzalezd1@unicartagena.edu.co](mailto:agonzalezd1@unicartagena.edu.co)

### Resumen

El acceso a la información y las crecientes tendencias a la utilización de fuentes no estructuradas como herramienta de consulta de estudiantes de Ingeniería Química en Latinoamérica, así como la posibilidad de soporte para los docentes en plataformas virtuales y objetos virtuales de aprendizaje (OVAs) han fomentado la aparición de contenidos de educación en ingeniería química de distinta naturaleza, sin embargo, se desconoce el desempeño y las magnitudes de apropiación de las mismas por parte del público interesado más allá de la cantidad de visualizaciones y el número de suscriptores de estos *cluster* de contenido.

En esta investigación, se analizan las tendencias de consumo de contenidos del canal de YouTube "Ingeniería Química Fácil, el cual incluye contenido educativo pertinente a los tópicos relacionados con la ingeniería química. Para ello se analiza con la ayuda de las herramientas de evaluación de la misma plataforma los tópicos de mayor interés para los usuarios, la evolución en el número de suscriptores, número de visualizaciones, fuentes de tráfico, tipo de audiencia por género, edad y país de origen, entre otros.

Los resultados muestran una tendencia creciente en el número de suscripciones, pero oscilatoria en la cantidad de visualizaciones dependiendo de la época del año, con un 53.3% del tráfico proveniente de búsquedas en google, un mayor interés por la termodinámica y la mecánica de fluidos con un 30.2 % y 27.0 % del tráfico respectivamente y una audiencia mayoritaria de México y Colombia con un 26.3 % y 11.8 % del total.

**Palabras Clave:** Educación, Ingeniería Química, OVA, Creación de contenido.

## Desgrasado de papas fritas mediante extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico: una experiencia de investigación de pregrado

Juan José Romero<sup>1</sup>, Isabel Mejía<sup>1</sup>, Gustavo Bolaños<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Termodinámica Aplicada y Fluidos Supercríticos  
Escuela de Ingeniería Química, Universidad del Valle,  
CL 13 100-00 Edificio E27, Cali, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [gustavo.bolanos@correounivalle.edu.co](mailto:gustavo.bolanos@correounivalle.edu.co)

### Resumen

Se desarrolló una práctica de laboratorio de Ingeniería Química dirigida a la enseñanza del uso de la tecnología de fluidos supercríticos en el desarrollo de procesos para agregar valor a diferentes materias primas. La práctica consiste en la extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico del aceite contenido en papas fritas (de paquete), un snack muy popular que se consume con frecuencia. Usando CO<sub>2</sub> a diferentes temperaturas y presiones por encima del punto crítico de esta sustancia (31 °C y 74 bar), en la práctica se determina gravimétricamente el rendimiento de la extracción y se recupera el aceite con miras a su reutilización en el proceso de fritura. Para ello, se explora la calidad del aceite extraído utilizando la prueba de anisidina, mediante la cual se mide el grado de oxidación del aceite. Dicha oxidación ocurre como consecuencia de las altas temperaturas en la fritura y resulta en la producción de aldehídos y cetonas, la mayoría de ellos altamente dañinos para la salud si se consumen en productos alimenticios. Finalmente, se realiza una prueba sensorial para evaluar las percepciones y la posible aceptación del consumidor de las papas fritas desgrasadas.

La máxima remoción de grasa se logró a 35 °C y 242 bar, condiciones a las cuales el rendimiento de aceite correspondió al 66.6% del peso de las papas fritas. La prueba de anisidina indicó que ninguna de las muestras de aceite extraídas alcanzó la calidad requerida para su reutilización en el proceso de fritura. El estudio sensorial mostró que todas las muestras de papas fritas desgrasadas se calificaron como aceptables en términos de sus cualidades organolépticas. No se observó diferencia significativa entre las papas fritas tratadas y no tratadas para parámetros como color, olor y sabor, pero se observó una diferencia significativa en la percepción de su textura. Un resultado adicional es que los estudiantes se

sorprenden por la gran cantidad de aceite que contienen las papas fritas y, por lo tanto, por el elevado contenido calórico de esta merienda popular.

**Palabras Clave:** Papas fritas, extracción supercrítica, test sensorial, valor de anisidina.

## Nuevas tendencias en internacionalización para el aprendizaje en ingeniería: modelo *global classroom*

Jeffrey León-Pulido<sup>1\*</sup>, Irma Salgado Escobar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Tecnológico ONTARE, Programa de Ingeniería Química, Universidad EAN, Cl. 71 #9 - 84, Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

<sup>2</sup>Escuela de Ingeniería y Ciencias, Departamento de Ciencias, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Ciudad de México, Calle del puente 222, Ejidos de Huipulco, Tlalpan, C.P. 14380, Ciudad de México, México

\*Autor de Correspondencia: [jleonp@universidadean.edu.co](mailto:jleonp@universidadean.edu.co)

### Resumen

El planteamiento de nuevas alternativas para el desarrollo de actividades académicas en el entorno internacional ha sido un desafío y búsqueda constante en las universidades y sus programas. Experiencias internacionales permiten abordar el conocimiento desde diferentes ópticas que integran la multiculturalidad, el conocimiento sin barreras de comunicación y la interacción con otras formas de ver las cosas. El presente estudio, describe la experiencia realizada por medio de herramientas tecnológicas entre dos cursos del Tecnológico de Monterrey en México y la Universidad EAN en Colombia. El desarrollo de esta nueva alternativa de interacción internacional fue soportada por metodologías pedagógicas de aprendizaje soportado en problemas, usando investigación y desarrollo (I + D) en medio de cursos cotidianos de formación en ingeniería. Adicionalmente, la metodología se basa en el *Global Classroom* como alternativa para asociar organizaciones-escuelas a través de vínculos. El caso de estudio fue desarrollado en el programa de Ingeniería Química de la Universidad EAN y la Escuela de Ingeniería y Ciencias del Tecnológico de Monterrey, interactuando de manera sincrónica dos cursos (1 en México y 1 en Colombia) durante un semestre desarrollando actividades en conjunto a partir de conocimientos de diseño de procesos, selección de alternativas, toma de decisiones, experiencias en laboratorio y computacionales. La metodología ha permitido desarrollar competencias transversales además de un alto grado de participación por parte de los alum-

nos. El desarrollo describe de forma global tres etapas: la primera descrita como rompe-hielo, la segunda de trabajo en equipo y una etapa final de reflexión. Dentro de los resultados encontrados se evidencian la generación de espacios que permiten comunicarse de manera efectiva con una variedad de audiencias, trabajar de manera eficaz en equipo compartiendo el liderazgo a partir de un entorno colaborativo e inclusivo, y la planificación de tareas. Finalmente, además de aplicar nuevos conocimientos la interacción genera una construcción integral de conocimiento, soportada en análisis de datos experimentales y su aplicación en la simulación de procesos.

**Palabras Clave:** educación en ingeniería, internacionalización, procesos químicos, laboratorio, simulación, educación.

## Plantando una semilla de trabajo en equipo en estudiantes de ingeniería química

*Felipe Salcedo<sup>1\*</sup>, Francisco Buitrago-Flórez<sup>2</sup>, José Felipe Bejarano<sup>1</sup>, Felipe Alvarado<sup>1</sup>, Daniel Rozo<sup>1</sup>, Carola Hernández<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Diseño de Productos y Procesos (GDPP), Departamento de Ingeniería Química. Universidad de los Andes.

<sup>2</sup>Unidad de Apoyo a la Docencia. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes

\*Autor de Correspondencia: [fsalced@uniandes.edu.co](mailto:fsalced@uniandes.edu.co)

### Resumen

Múltiples aspectos han cambiado las demandas de la industria respecto a las competencias que esperan de los profesionales recién graduados de ingeniería. En los últimos 15 años, diferentes autores han atribuido este cambio a fenómenos complejos como avances en tecnología, desarrollo de nuevas especializaciones en el campo, globalización, la necesidad de interdisciplinaridad para resolver problemas complejos, entre otros. Estos cambios han revelado diversas inconsistencias entre las competencias requeridas en una siempre creciente industria y las competencias que desarrollan los programas de ingeniería. Una de las competencias de más alta demanda en estos momentos es el trabajo en equipo, que se destaca como un elemento clave para el diseño y desarrollo de soluciones a problemas complejos de ingeniería. Sin embargo, muy pocas veces esta competencia se desarrolla de manera explícita y programada en los currículos ingenieriles de educación superior, dejando un vacío importante en la formación

de nuestros ingenieros. En este estudio, se describe el diseño, implementación y evaluación de una aproximación inicial para el desarrollo de trabajo en equipo basada en estrategias pedagógicas activas, a través del desarrollo de proyectos disciplinares en el curso de Fenómenos de Transporte 1, correspondiente al cuarto semestre del programa de Ingeniería Química. En estos proyectos se les pide a los estudiantes que apliquen sus conocimientos, tradicionalmente vistos como muy abstractos en este tipo de cursos, al diseño de productos y procesos. Se realiza un seguimiento al desarrollo de los proyectos mediante un diseño metodológico mixto (Cuantitativo + Cualitativo) que consta del uso de rubricas, encuestas, entrevistas y reflexiones escritas para evaluar los alcances de la propuesta. Los resultados obtenidos indican un alentador incremento en el conocimiento teórico de trabajo en equipo en los estudiantes, así como un incremento en sus habilidades para organizarse, relacionarse y reflexionar para poder mejorar la experiencia de trabajo en equipo a lo largo del curso. Este estudio provee un marco de referencia inicial para fomentar el desarrollo de la competencia de trabajo en equipo, el cual puede ser usado un insumo clave para dar alcance a la problemática de desarrollo de competencias básicas en ingenieros del siglo XXI.

**Palabras Clave:** Fenómenos de Transporte, Trabajo en Equipo, Desarrollo de competencias, Aprendizaje Activo.

## **CAPÍTULO IV: Emprendimiento e innovación en ingeniería química**

---

*Líder de línea temática:*

**Nubia Yineth Piñeros Castro**

Universidad Jorge Tadeo Lozano

El emprendimiento, la innovación y el desarrollo empresarial en el ejercicio de la Ingeniería Química están siendo base de crecimiento económico y empleabilidad en el país. El impulso por crear nuevos negocios y soluciones innovadoras para desafíos existentes ha estado articulado con incentivos para empresas de base tecnológica con alto potencial de crecimiento. El liderazgo en pensamiento empresarial de los ingenieros químicos se reflejó en los trabajos presentados en este capítulo para industrias cosméticas y farmacéuticas, así como oportunidades en la academia para impulsar el emprendimiento.

## Formulación y fabricación de detergente retenedor de tinta para ropa

*Nicolle Velasquez<sup>1</sup>, Valentina Mendez<sup>1</sup>, Angela Montoya<sup>1</sup>, Mario Andrés Noriega<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería Química, Universidad de la Salle, Carrera 2 # 10-70, Bogotá, Colombia.

\*Autor de correspondencia: mnoriega@unisalle.edu.co

### Resumen

Los detergentes para ropa son productos de limpieza básicos en el hogar, que hacen parte de la rutina diaria de las personas, evidencia de esto es que el consumo de detergentes en los hogares colombianos es de 292.000 toneladas al año. Para aumentar el rendimiento del detergente, se han dosificados diversas enzimas. Kame et al. [1] estudiaron y analizaron los efectos de la proteasa, Nerurkar et al. [2] de la lipasa y Manivasagan et al. [3] de la queratinasa. En cada uno de estos estudios se encontró que el rendimiento del lavado de detergente y el contenido de enzimas mejoran la detergencia y la capacidad de eliminación de la suciedad.

A pesar de todos los avances e investigaciones, no hay reportes de detergentes que tengan la capacidad de retener la tinta de las prendas para evitar el deterioro y el desteñimiento de las telas. La sociedad actual exige a sus integrantes llevar un ritmo de vida acelerado, por ende, no es posible desperdiciar tiempo en la separación y clasificación de las prendas por color para realizar el lavado. Por esta razón, en este trabajo se desarrolló la formulación y fabricación del detergente retenedor de tinta (DTR) que tiene como objetivo impedir la pérdida de color de las prendas en el momento del lavado sin dejar de lado la capacidad de eliminar la suciedad.

El detergente que impide el desprendimiento de tinta de la tela fue formulado y fabricado. Pruebas fisicoquímicas fueron desarrolladas para evaluar la capacidad de retención de tinta del detergente, donde se evidenciaron las características de retención de tinta y el cumplimiento de las normas técnicas colombianas de producción de detergentes. Finalmente, los resultados obtenidos a escala de laboratorio fueron empleados para generar un diseño preliminar del proceso a escala industrial.

**Palabras Clave:** Detergente, retenedor de tinta, formulación de detergentes, potencializador de limpieza, calidad de detergentes.

### Referencias:

- Kame, M., Koda, A., Kato, A., & Koma, T. (1973). *Detergency and mechanism of soil removal in detergent-enzyme system*. 464–469.
- Nerurkar, M., Joshi, M., Pariti, S., & Adivarekar, R. (2013). Application of lipase from marine bacteria *Bacillus sonorensis* as an additive in detergent formulation. *Journal of Surfactants and Detergents*, 16(3), 435–443.
- Manivasagan, P., Sivakumar, K., Gnanam, S., Venkatesan, J., & Kim, S. K. (2014). Production, biochemical characterization and detergents application of keratinase from the marine actinobacterium *Actinoalloteichus* sp. MA-32. *Journal of Surfactants and Detergents*, 17(4), 669–682.

## Extracción por solventes de aceite crudo a partir de café afectado por broca

Diana Ostos<sup>1</sup>, Luz Katherine García<sup>1</sup>, Mario Andrés Noriega<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería de Alimentos, Universidad de La Salle, Carrera 2 # 10-70, Bogotá, Colombia.

<sup>2</sup>Programa de Ingeniería Química, Universidad de La Salle, Carrera 2 # 10-70, Bogotá, Colombia.

\*Autor de correspondencia: [mnoriega@unisalle.edu.co](mailto:mnoriega@unisalle.edu.co)

### Resumen

Colombia se ha caracterizado internacionalmente por ser uno de los principales productores de café de alta calidad con una producción de 13'566.000 de sacos de 60 kg en 2018. Sin embargo, de todo el café que se produce en Colombia, entre el 5 y 23% se pierde a causa de la broca, este trabajo propone aprovechar dicho café desperdiciado. El proyecto se estructuró en cuatro etapas, inicialmente se hizo la recolección del café proveniente de la región de Caldas y se realizó un acondicionamiento del mismo. En la segunda etapa se realizó la extracción del aceite por el método Soxhlet, evaluando la influencia de la relación solvente-alimento (50:1, 70:1 y 100:1 (v/w)) y el tipo de solvente (etanol, hexano y mezcla agua (50%)– etanol (50%)) sobre el rendimiento de extracción, realizando un análisis estadístico. En la tercera etapa se desarrollaron los análisis fisicoquímicos al

aceite extraído con mejor rendimiento y en una última etapa se realizó la curva de extracción sólido-líquido. Al evaluar las diferentes condiciones de operación se determinó que el mayor rendimiento fue de 16,79% y se obtuvo utilizando hexano en una relación 100:1 (v/w). Las características de aceite fueron: densidad de 0,98 g/ml, índice de peróxido de 19,79 meqO<sub>2</sub>/kg, índice de acidez de 1,75 mg KOH/g grasa y un valor de índice de yodo de 25,53 (% yodo absorbido), estos resultados indican que el aceite obtenido presentó un bajo contenido de ácidos grasos libres lo que indica un buen grado de pureza. El análisis por cromatografía de gases reveló la presencia en un 42% de aceite linoleico, seguido del aceite oleico con un 31% y en menor proporción de aceite palmítico con un 27%, no se detectó presencia de diglicéridos, monoglicéridos o esteres indicando que la extracción por solventes reducirá las etapas de purificación final del aceite.

**Palabras Clave:** Café, broca, métodos de extracción, aceite crudo, curva de equilibrio sólido - líquido.

## Diseño de productos cosméticos a escala de laboratorio incorporando panela

Heinny Estefanía León Merchán<sup>1</sup>, Lida Marcela Mesa Ruiz<sup>2</sup>, María Camila Suárez Gámez<sup>2</sup>,  
Álvaro Orjuela Londoño<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de procesos químicos y bioquímicos, Ingeniería Química,  
Universidad Nacional de Colombia,

\*Autor de Correspondencia: aorjuelal@unal.edu.co

### Resumen

El sector panelero de Colombia está ampliando su gama de productos para generar valor agregado a la panela, ésta, es reconocida por su alto contenido de minerales, vitaminas, nutrientes y antioxidantes, que la hacen un endulzante apetecible, sin embargo, su versatilidad más allá del sector alimenticio, permite su inclusión en este estudio, en un producto cosmético para el cuidado personal. Generando un mayor valor agregado, dada la solidez del mercado de cosméticos y la creciente demanda de componentes naturales en éstos.

Este proyecto pretende obtener: una mascarilla de arcilla anti-edad que aproveche la capacidad antioxidante que posee la panela, un exfoliante tipo gel y un exfoliante tipo polvo. Debido a su alto grado de innovación, los aportes biblio-

gráficos son escasos, lo cual conlleva al diseño de formulaciones que se modifican con diferentes porcentajes en contenido de panela hasta lograr un producto que presente características que se encuentren en el mercado.

Para obtener un producto final, se realizan pruebas de estabilidad y medición de parámetros como tamaño de partícula, tamaño de gota y propiedades reológicas. Como resultado, 2 mascarillas, 4 geles y 3 polvos, se consideran estables y con probabilidad de aceptación por parte de los consumidores. De esta forma, los productos estables se someten a una evaluación sensorial donde se determina que pueden ser un producto aceptado.

**Palabras Clave:** Emulsión, formulación, gel, panela, polvo.

## Fragmentación no-extensiva de productos naturales y modelamiento de farmacóforos como estrategia para identificar compuestos con *scaffolds* químicos innovadores

Andrés Felipe Vásquez<sup>1</sup>, Alejandro Reyes Muñoz<sup>2,3</sup>, Jorge Duitama<sup>4</sup>, Andrés González Barrios<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Diseño de Productos y Procesos (GDPP), Department of Chemical Engineering, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

<sup>2</sup> Grupo de Biología Computacional Ecología Microbiana (BCEM), Department of Biological Sciences, Universidad de los Andes Bogotá, Colombia,

<sup>3</sup> Max Planck Tandem Group in Computational Biology. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

<sup>4</sup> Systems and Computing Engineering Department, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [andgonza@uniandes.edu.co](mailto:andgonza@uniandes.edu.co)

### Resumen

Métodos propios del descubrimiento de fármacos basados en fragmentos (FBDD) como RECAP (procedimiento de análisis combinatorio retrosintético) y el modelamiento de farmacóforos han demostrado ser herramientas eficientes para diseñar y descubrir nuevos fármacos en los últimos años. El diseño basado en fragmentos facilita una mayor complementariedad dentro de un sitio de unión y una exploración más eficiente del 'espacio químico', mientras que el modelamiento de farmacóforos describe las características estéreo- electrónicas 3D compartidas por compuestos activos que facilitan el reconocimiento y la interacción con un objetivo biológico particular, facilitando el llamado "*scaffold*

*hopping*". Sin embargo, estas técnicas pueden llegar a ser limitadas si la colección de fragmentos es altamente repetitiva, poco diversa y tiene una complejidad química demasiado baja. En este contexto, no solo el uso simultáneo con implementaciones basadas en RECAP se ha discutido y analizado de forma bastante limitada, sino que también las implementaciones computacionales de RECAP generalmente implican un proceso extensivo que considera simultáneamente todos los sitios de escisión. Aquí demostramos que una combinación de una versión no-extensiva de RECAP y un *screening* (cribado) virtual (VS) basado en modelamiento de farmacóforos sobre una colección de productos naturales (NPs) puede proporcionar fragmentos con potencia (en términos de puntaje de ajuste o *pharmacophore fit score*) pero también con una diversidad y capacidad de desarrollo moderadamente altas. Nuestro objetivo consistió en aplicar una estrategia combinada *in silico* mediante análisis de fragmentación y quiminformática. Inicialmente, desarrollamos una versión no extensa del enfoque RECAP para deconstruir varias bibliotecas virtuales de productos naturales, incluida la base de datos TCM, Nubbe, UEFS y AfroDb. A continuación, desarrollamos un VS utilizando los fragmentos derivados de productos naturales (NPDFs) resultantes y un conjunto de 20 modelos de farmacóforos superpuestos para diferentes proteínas de interés terapéutico. Después de la fragmentación RECAP de una librería virtual de 38824 NPs únicos, obtuvimos un conjunto de 45125 NPDFs no-extensivos únicos, cuyo número de entidades químicas fue mucho mayor que los NPDFs extensivos (11847 compuestos). Después de la VS basada en el farmacóforos, los NPDFs no-extensivos demostraron ser la mayor parte de los *hits* que se recuperaron y fueron mucho menos repetitivos, con diferentes porcentajes dependiendo de la proteína objetivo. Asimismo, observamos que la diversidad estructural de ambos tipos de NPDFs y de los NPs se redujo muy poco después del VS. Finalmente, el puntaje de ajuste de los NPDFs no-extensivos demostró no solo ser mayor en promedio con respecto a los NPDFs extensivos relacionados (56% de los casos), sino también más alto que sus NPs originales (69% de los casos) cuando también eran reconocido como compuestos *hit*. Los resultados obtenidos muestran que el enfoque en cascada propuesto podría no solo ser aditivo sino también sinérgico, al aumentar la probabilidad de identificar *scaffolds* químicos innovadores que merecen un mayor desarrollo como compuestos candidatos (*drug-sized*). Del mismo modo, consideramos que el conocimiento sobre el grado de deconstrucción requerido para los NPs para producir

NPDFs de interés representa un punto de partida ventajoso para estudios de síntesis biológica, caracterización y actividad biológica.

**Palabras Clave:** Descubrimiento de fármacos basado en fragmentos, RECAP, screening virtual, modelamiento de farmacóforos, librerías de fragmentos.

## Estrategias para impulsar el emprendimiento en el programa de ingeniería química de la Universidad de Cartagena

*Claudia Hernández-Londoño<sup>1\*</sup>, Adriana Herrera<sup>2</sup> y Gabriel Chanchí Golondrino<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Grupo Bioprocesos y Agroindustria, <sup>2</sup>Grupo NIPAC, <sup>3</sup>Grupo E-Soluciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena, Campus Piedra de Bolívar

\*Autor de Correspondencia: [chernandezl@unicartagena.edu.co](mailto:chernandezl@unicartagena.edu.co)

### Resumen

Como resultado de los procesos de autoevaluación para la acreditación de alta calidad y la renovación del registro calificado del programa de Ingeniería Química de la Universidad de Cartagena, se identificaron dos necesidades importantes. La primera fue la necesidad de ampliar la oferta de líneas de formación en proyectos empresariales. La segunda fue la necesidad del entorno de fortalecer las competencias en formulación de propuestas y proyectos de aplicación empresarial y/o social. Estas necesidades fueron contempladas en la reforma curricular realizada en el programa para cumplir con los lineamientos curriculares de la Universidad de Cartagena en 2017. Entre las recomendaciones dadas por el CNA durante el proceso de acreditación de alta calidad del programa de Ingeniería Química estaba la promoción de políticas y estrategias que permitan la generación de una cultura del emprendimiento. Este trabajo se presenta los resultados de las estrategias implementadas en el programa de Ingeniería Química de la Universidad de Cartagena para impulsar la cultura del emprendimiento. Una de las estrategias más importantes fue la implementación de una feria en el marco de los cursos de Emprendimiento empresarial de quinto semestre. La primera versión se realizó de manera presencial en el segundo semestre de 2019. La segunda versión se realizó de manera virtual en el primer semestre de 2020 a causa de la pandemia por el Covid-19. Para esta segunda versión los estudiantes emplearon herramientas de trabajo colaborativo para el diseño de la página web del evento. Durante el 2020 además se realizó una alianza con el SENA para que

los estudiantes del programa de Ingeniería Química y de la Facultad de Ingeniería pudieran tomar de manera virtual cursos gratuitos asociados a emprendimiento. Durante el 2020 se han desarrollado nueve cursos y una feria virtual para ayudar a impulsar los emprendimientos de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería. Estas estrategias lograron despertar la cultura del emprendimiento no sólo en los estudiantes del programa de Ingeniería Química sino en los estudiantes de la Facultad de Ingeniería. Varios de los estudiantes que tomaron el curso de Emprendimiento empresarial manifestaron su interés en desarrollar un proyecto de emprendimiento como trabajo de grado.

**Palabras Clave:** feria virtual, reforma curricular, herramientas de trabajo colaborativo.

## Propuesta de un modelo de gestión de la innovación para la empresa Innovactiva Ingeniería S.A.S

*Diego Armando Montenegro Apraéz\**

<sup>1</sup>Grupo de Investigación de Biocombustibles y Biorefinerías - GRUBIOC,  
Ingeniería Química, Universidad del Valle.  
Innovactiva Ingeniería S.A.S  
[diego.armando.montenegro@correounivalle.edu.co](mailto:diego.armando.montenegro@correounivalle.edu.co)

### Resumen

Innovactiva Ingeniería S.A.S es una empresa de base tecnológica que nació como una iniciativa de dos estudiantes de Ingeniería Química la Universidad del Valle. Mediante investigación aplicada la empresa ha desarrollado carbones activados con características especiales para la recuperación de sustancias específicas.

Dado que el conocimiento técnico y científico es fundamental para el desarrollo de las empresas de base tecnológica, es necesario que la empresa implemente un modelo de gestión de la innovación, teniendo en cuenta algunos factores como por ejemplo, los recursos que la empresa dispone, las alianzas que la empresa ha realizado, los actores de la región que pueden contribuir al modelo de innovación, entre otros factores.

Para el desarrollo del modelo de gestión de innovación se realizó inicialmente un inventario tecnológico que permitió identificar las capacidades que la empresa po-

see. En este inventario tecnológico se tiene en cuenta el know how desarrollado, el capital humano y los equipos que la empresa posee. Posteriormente se realiza una caracterización de las prácticas que para la gestión de la innovación que realiza la empresa, en esta caracterización se identifica como se abordan desde la empresa las ideas, las oportunidades de innovación, los proyectos de innovación, las tecnologías y los productos y servicios. Por otro lado, se identificó los demás actores de la región relacionados con la I+D+i que pueden contribuir al modelo de gestión de innovación de la empresa. Finalmente se realiza la propuesta del modelo.

**Palabras Clave:** Gestión de la innovación, desarrollo tecnológico, I+D+i

## Del laboratorio a la escala piloto, experiencia de estudio: obtención de antioxidantes concentrados a partir de cacota de cacao

Sergio Alejandro Cáceres-Roa<sup>1</sup>, Luis Javier López-Giraldo<sup>1</sup>, Carlos Jesús Muvdi-Nova<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [cjmuvdi@uis.edu.co](mailto:cjmuvdi@uis.edu.co)

### Resumen

El escalamiento del proceso de obtención de polifenoles a partir de cacota de cacao ha pasado por varios retos; el primero, relacionado con la reducción de costos energéticos asociados con el secado de la cacota. Debido a esta modificación del proceso, fue necesario hacer un reajuste en las condiciones de extracción (para cáscara húmeda); los resultados de extracción obtenidos condujeron a una recuperación del 85% de los polifenoles obtenidos con cacota seca ( $54.75 \pm 1.49$  mgEAG/g). El segundo reto fue la inactivación del material, que debido a pérdida de polifenoles fue necesario descartar en el proceso escalado. Por otra parte, se integraron etapas de concentración por evaporación de película y secado por aspersion, permitiendo recuperar hasta un 70% de solvente y obtener un producto en polvo. Por último, se hizo una estimación de costos a través del *software* SuperproDesigner®, comparando el proceso escalado experimentalmente (4 kg de cacota) con respecto a una escala mayor (80kg), donde se mostró la rentabilidad del proceso, siendo mayor en la última escala.

**Palabras Clave:** Cacota, Escalamiento, Extractos de polifenoles. Sesión: Emprendimiento e Innovación en Ingeniería Química.

## CAPÍTULO V: Energías alternativas

---

*Líder de línea temática:*

**Débora Alcida Nabarlatz**

Universidad Industrial de Santander

Uno de los mayores desafíos que enfrentan los ingenieros químicos es la transición a fuentes de energía limpias y renovables. El consumo masivo de combustibles fósiles, especialmente por parte del sector industrial y de transporte, ha generado impactos negativos sobre el medio ambiente. Los ingenieros químicos, como agentes de cambio, han liderado iniciativas en energías alternativas que incluyen la eólica, solar, hidráulica y biomasas. En esta línea temática, los panoramas en Ciencia, Tecnología e Innovación están enfocados en mejorar tecnologías de producción de biocarburantes y de almacenamiento de energía. El uso de residuos agroindustriales para la producción de etanol y biodiesel ha sido centro de las investigaciones compiladas en este capítulo.

## Análisis del potencial de azúcares fermentables en pomarrosa (*Syzygium malaccense*) para la producción de etanol

Jorge Aranda Caraballo<sup>1</sup>, Lizeth García<sup>1</sup>, Luis López<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de los llanos

\*Autor de correspondencia: [jorge.aranda@unillanos.edu.co](mailto:jorge.aranda@unillanos.edu.co)

### Resumen

En la presente investigación, se evaluó el potencial de los azúcares fermentables en la pulpa de la pomarrosa (*Syzygium malaccense*), como fuente alternativa para la obtención de bioetanol utilizando la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Se realizó primeramente un análisis proximal, para determinar el perfil bromatológico del fruto; se planteó un diseño experimental completamente aleatorio con arreglo factorial 2X4 para evaluar el efecto del factor pH y Concentración de sustrato en °Brix, el primero con 2 niveles (3,0 y 4,5) y el segundo con cuatro niveles (16, 18, 20 y 22 °Brix), sobre los rendimientos en la producción de alcohol ( $Y_p/s$ ) al término de 5 días. Cada tratamiento se realizó por triplicado ( $n = 3$ ). Los resultados obtenidos fueron sometidos a un ANOVA de dos vías para determinar si existen diferencias significativas entre los mismos y una prueba de comparaciones múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ). Se determinaron también parámetros cinéticos de crecimiento como el rendimiento de biomasa respecto a sustrato ( $Y_x/s$ ), tasa de crecimiento ( $\mu$ ) y tiempo de duplicación. Al final se encontró que a pH inicial de 3 y una concentración de sustrato de 18 °Brix, se alcanzaron los rendimientos máximos de etanol, con un valor promedio de 0,328g/g. Adicional a esto, se encontró que, al término de la fase exponencial, los tratamientos 1 y 5 presentaron las concentraciones de biomasa promedio más altas, con datos de 18,7 y 13,3 células/mL.

## Producción de biodiésel a partir de aceite usado de cocina: Diseño preliminar de producto y proceso

*Mercedes Vera<sup>1</sup>; Sebastián Buitrago<sup>1</sup>; Felipe Vargas Torres<sup>1</sup>; Mario Andrés Noriega<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería Química, Universidad de La Salle, Carrera 2 # 10-70, Bogotá, Colombia.

\*Autor de correspondencia: [mnoriega@unisalle.edu.co](mailto:mnoriega@unisalle.edu.co)

### Resumen

La explotación de combustibles fósiles a nivel mundial ha crecido en el último siglo llevando a la sociedad a proponer nuevas alternativas energéticas sostenibles. El biodiésel como combustible alternativo se deriva de un recurso renovable (aceite vegetal), lo que alivia la dependencia generada hacia los combustibles fósiles. El biodiésel se puede obtener a través de diferentes procesos, siendo la transesterificación con catalizador alcalino (NaOH) el método más utilizado a escala industrial debido a su simplicidad en técnica y eficiencia. Previos resultados han demostrado que el principal costo en la fabricación del biodiésel se atribuye a los costos de la materia prima, con el ánimo de reducir dichos costos este trabajo evaluó la producción de biodiésel a partir de aceite usado de cocina. Inicialmente, se removieron los sólidos suspendidos del aceite por filtración a 40°C, después se realizó una evaluación fisicoquímica del aceite de cocina usado y luego se realizó una reducción del contenido de ácidos grasos libres en una etapa de esterificación en medio ácido (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), este aceite pre-tratado fue llevado a una segunda etapa de transesterificación alcalina (NaOH). El biodiésel obtenido se separó por decantación, fue lavado con agua destilada, fue secado y su calidad fue evaluada mediante pruebas fisicoquímicas. Finalmente, los resultados obtenidos a escala de laboratorio fueron empleados para generar un diseño preliminar del proceso a escala industrial.

**Palabras Clave:** aceite usado; biodiésel; caracterización fisicoquímica; ácidos grasos libres; esterificación ácida; esterificación alcalina.

## Estudio de la eficiencia de la combustión de residuos de coco y maíz mediante análisis con espectrofotómetro infrarrojo de transformada de fourier (FTIR)

*Arnaldo Martínez<sup>1</sup>, Alberto Albis<sup>2</sup>, Lina Montoya<sup>2</sup>, Lourdes Meriño<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup> Grupo de Investigación agroindustrial, Programa de Ingeniería Agroindustrial, Universidad del Atlántico, Carrera 30 Número 8- 49 Puerto Colombia – Atlántico

<sup>2</sup> Grupo de Bioprocesos, Programa de Ingeniería Química, Universidad del Atlántico, Carrera 30 Número 8- 49 Puerto Colombia – Atlántico

\*Autor de Correspondencia: [lourdesmerino@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:lourdesmerino@mail.uniatlantico.edu.co)

### Resumen

Debido al aumento del consumo energético mundial de los últimos años y la necesidad de minimizar los problemas ambientales asociados al uso de los combustibles fósiles, las empresas se han enfocado en el estudio de los potenciales de fuentes alternativas y renovables de energía. Los usos potenciales de la biomasa como fuente alternativa de energía y sus posibles esquemas tecnológicos de aprovechamiento, exigen que se profundice en el conocimiento de los aspectos específicos relacionados con su disponibilidad, composición y potencial energético.

Los residuos agroindustriales se han considerado como una fuente de energía y materia prima para muchas actividades en países poco industrializados. Al respecto, en los últimos años se han realizado investigaciones con diversos residuos agroindustriales con el fin de establecer sus propiedades térmicas, físicas, químicas y morfológicas y determinar la forma apropiada de aprovechamiento bajo un esquema de biorrefinería, con lo cual se puede dar respuesta a requerimientos energéticos y de proceso que garanticen el aprovechamiento integral de los residuos y minimicen impactos ambientales. En el departamento del Atlántico se tienen residuos del procesamiento de maíz y coco que se convierten en un problema ambiental debido que no se realiza una disposición final adecuada; en este trabajo se realiza la combustión de residuos de maíz y coco con el fin de identificar los principales productos gaseosos liberados del proceso de combustión; para ello se estudió en tiempo real la combustión utilizando un analizador termogravimétrico acoplado a un espectrofotómetro infrarrojo de transformada de Fourier (FTIR). Los espectros IR se obtuvieron a la velocidad de calentamiento

de 10K/min y el rango de exploración de éste fue de 4000-400cm<sup>-1</sup>. Los gases de combustión se observan en el intervalo de temperaturas de 200-900°C el cual corresponde a la zona en la que ocurren los eventos de mayor pérdida de masa. Para las dos biomásas los picos de mayor absorción se asocian a la liberación de CO<sub>2</sub> que pueden identificarse por la existencia única de bandas características en 2350 cm<sup>-1</sup> y 665 cm<sup>-1</sup>. La presencia de dos picos de baja intensidad a 2184cm<sup>-1</sup> y 2110cm<sup>-1</sup> se asocia a la formación de CO, y a diferencia del CO<sub>2</sub> su producción se limita al rango de temperatura de 200- 580°C aproximadamente. La detección de CO<sub>2</sub> y CO en este rango de temperatura sugiere que la reacción de descarboxilación (formación de CO y CO<sub>2</sub>) se ve favorecida simultáneamente en esta etapa de la combustión. Los valores de la relación CO<sub>2</sub>/CO permiten inferir la eficiencia de la reacción de combustión, mientras mayor es el valor de esta relación mayor es la eficiencia; teniendo en cuenta lo anteriormente expresado, se concluye que la combustión de los residuos de coco tiene la mayor eficiencia asociada cuando se calienta a una tasa de 10K/min, presentado un valor de la relación CO<sub>2</sub>/CO igual a 43,16.

**Palabras Clave:** combustión de biomasa, residuos de maíz, residuos de coco, FTIR.

## Estudio experimental de reacciones químicas seguras de óxido-reducción y su conversión en energía eléctrica

George Riaño<sup>1\*</sup>, Hesneider Soto<sup>1</sup>, Jhon Quinter<sup>1</sup>, Hamilton Carrillo<sup>1</sup>, Diego Barbosa<sup>1</sup>, Jeffrey León-Pulido<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sijpar semillero, Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad EAN, Bogotá - Colombia

\*Autor de Correspondencia: [grianom07574@universidadean.edu.co](mailto:grianom07574@universidadean.edu.co)

### Resumen

El aprovechamiento energético y el desarrollo de nuevas alternativas para la generación de energía, son propósitos y desafíos para mejorar la calidad de vida y las condiciones globales de demanda energética. Los intentos por reducir y contribuir en la diversificación de fuentes fósiles, responden a principios fenomenológicos guiados por las grandezas termodinámicas. El trabajo de investigación, incluye la seguridad de procesos de forma detallada para el montaje experimental, la selección de materias primas para la obtención de energía a

partir de reacciones químicas. La reacción inicial de oxido-reducción es usada para la generar energía de arranque en prototipos de ChemE Car, como una de las alternativas de reacción. El perfil de energía generada es obtenido a partir de una celda galvánica, esta consigue atender un voltaje de 1,3V y 130 mA, en un volumen de operación de 15 mL. La energía generada en la reacción química es aprovechada en una proyección mecánica obteniendo la tracción mecánica asistida por un motor eléctrico, todo dispuesto en un prototipo de 3 Kg. Finalmente, es generada energía a partir de la reacción y estudiada la correlación de variables asociadas, entre concentración de reactivos y la cantidad de energía producida.

**Palabras Clave:** Energía, Eficiencia, óxido-reducción, reacción, seguridad de proceso.

## Influencia de antioxidantes sintéticos en la estabilidad oxidativa del biodiesel producido a partir de aceite de palmiste

*Lia Z. Mora-Vergara<sup>1\*</sup>, L. Medina<sup>1</sup>, J. Pacheco<sup>1</sup>, Y.T. Caballero<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>GIADAI, Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Instituto Universitario de la Paz - UNIPAZ, Km 14 vía Bucaramanga Sede Santa Lucía

\*Autor de Correspondencia: [lia.mora@unipaz.edu.co](mailto:lia.mora@unipaz.edu.co)

### Resumen

La quema de combustibles fósiles es uno de los principales responsables de daños al medio ambiente al producir gases de efecto invernadero (GEI) que se acumulan en la atmósfera, generando aumento de la temperatura global del planeta; esta situación supone un problema para la seguridad ambiental y para la salud de los seres humanos; igualmente el aumento de los precios del petróleo supone una presión en el uso y disponibilidad de combustibles fósiles. Por ello, una de las alternativas para disminuir el impacto que causan los combustibles convencionales y la dependencia hacia éstos, es el reemplazo total o parcial por biocombustibles, como el biodiesel, que es un combustible de origen biológico que se puede producir a partir de grasas animales o aceites vegetales por reacciones de transesterificación, en presencia de un alcohol y catalizador; y que tiene la ventaja de ser renovable, no tóxico y biodegradable. Sin embargo, al estar elaborado a partir de aceites vegetales o grasa animal, tiende a degra-

darse con el paso del tiempo, autooxidándose y formando ácidos grasos libres (AGL), cambios de color y descomposición térmica, disminuyendo su vida útil. Debido a lo anterior, se hace necesario realizar estudios que permitan evaluar la estabilidad del biodiesel mediante el uso de antioxidantes y así, aumentar la vida útil de los mismos, sin alterar sus propiedades fisicoquímicas. En la presente investigación, la estabilidad oxidativa del biodiesel producido a partir del aceite de palmiste se evaluó empleando ácido sulfónico y benzoato de sodio como antioxidantes. El biodiesel se obtuvo empleando aceite: metóxido de sodio en relación 5:1 v/v, a  $55\pm 1^\circ\text{C}$ , durante 2 horas en agitación. Por su parte el metóxido se preparó en relación de 1,75% p/v con respecto al metanol. Seguidamente, se dispuso la muestra en tubos de ensayo, dopadas con diferentes concentraciones de los antioxidantes (0, 250 ppm, 2500 ppm), en contacto con lámina de cobre, durante un periodo de 28 días. La caracterización se realizó en periodos de 7 días, mediante pruebas como índice de acidez, yodo y peróxidos, así como absorbancia, cambio de color y corrosión en la lámina de cobre. Los resultados de este trabajo permitieron observar índices de acidez constante y disminución en el índice de yodo, así como una menor variación en el índice de peróxidos para las muestras dopadas que para el blanco (muestra no dopada), al emplear benzoato de sodio a 2500ppm. Por su parte, las muestras tratadas con ácido sulfónico presentaron un cambio en la coloración, una mayor acidez e indicativos de corrosión en las láminas de cobre.

**Palabras Clave:** Biodiesel, estabilidad oxidativa, antioxidantes, ácido sulfónico, benzoato de sodio

## Gasificación del carozo de coco *-acrocemia aculeata-* para la obtención de gases de síntesis

María Belén Sarubbi Cabrera<sup>1</sup>, María Cristina Penayo Ortellado<sup>1</sup>, Shirley Johanna Duarte Chavez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Aplicaciones Industriales, Facultad de Ciencias Químicas  
Universidad Nacional de Asunción

\*Autor de Correspondencia: [sduarte@qui.una.py](mailto:sduarte@qui.una.py)

### Resumen

La *Acrocemia aculeata* (*Arecaceae*), es una planta nativa que crece principalmente en la región oriental del Paraguay, debido a que se adapta perfectamente a las condiciones de nuestro clima y suelo. A través de la conversión termoquímica

de biomásas se puede obtener energía, esta energía se puede obtener de forma directa como calor o a través de la generación de productos que almacenan e incrementan la densidad de la materia prima. Los productos generados pueden ser gases combustibles (metano e hidrogeno, por ejemplo), combustibles líquidos (metanol y etanol entre otros) y sólidos (como el carbón vegetal) (Dominguez Dominguez, 2015). De acuerdo con Bohn, (2009) este residuo agroindustrial, proveniente de las aceiteras que procesan el fruto "coco" de la palmera *A. aculeata* en Paraguay, se produce en cantidades de entre 7 a 10 Tm/hectárea por año. El carozo de coco fue analizado en cuanto a sus componentes lignocelulósicos mayoritarios, así como su análisis próximo y poder calorífico, que están en directa relación con uno de nuestros objetivos que es conocer la capacidad energética del residuo del coco. Para la caracterización del comportamiento termoquímico de nuestra biomasa se utilizó un reactor de lecho fijo a escala de laboratorio, de 17,5 cm de altura y  $\frac{3}{4}$ " cm de diámetro. El reactor fue cargado y calentado a 5 K/min, en medio inerte de nitrógeno gaseoso hasta llegar a las temperaturas de gasificación de 800 y 900 °C, temperatura a la que el vapor de agua fue inyectado para la activación física del material en estudio. Dos tiempos de gasificación fueron empleados durante el proceso (45 y 60 min). Los gases fueron analizados empleando un espectrofotómetro infrarrojo (FTIR) y un cromatógrafo gaseoso con detector por conductividad térmica (GC-TCD) permitiéndonos identificar y cuantificar los principales gases detectados en la línea de salida del proceso. El residuo sólido del proceso (carbón activado) fue analizado por determinación del índice de yodo según la norma NMX-F-296-SCFI-2011. Los resultados obtenidos en cuanto la materia prima, carozo de coco de distintos departamentos del país, nos muestra que estamos ante un producto prometedor para aprovechamiento energético, contenido bajo de cenizas (< 3 % m/m), elevado poder calorífico de hasta 4700 cal/g, y mayor contenido de celulosa y lignina. El carbón activado obtenido, presentó rendimientos mayores a la menor temperatura de 800 °C y porosidad media de hasta 1120 mg l/g. Respecto al análisis de los gases, se observa variaciones en cuanto a la cantidad producida de los mismos conforme avanza la reacción, existiendo tres etapas bien definidas incremento, estabilización y disminución en la producción de los gases afluentes del proceso.

**Palabras Clave:** carozo de coco, gas de síntesis, activación física, residuos agroindustriales.

## Evaluación técnico-económica de una biorrefinería para el aprovechamiento de residuos agroindustriales de la costa caribe colombiana: Comparación del enfoque de pretratamiento

Adrián Yaya-González<sup>1</sup>, Daniela Alvarado-Barrios<sup>1</sup>, Yeimmy Peralta-Ruiz<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Agroindustrial, Universidad del Atlántico, Puerto Colombia 081008, Colombia.

<sup>2</sup>Faculty of Bioscience and Technology for Food, Agriculture, and Environment, University of Teramo, 64100 Teramo, Italy

\*Autor de Correspondencia: yeimmyperalta@mail.uniatlantico.edu.co, yyperaltarui@unite.it

### Resumen

La gran cantidad de residuos agroindustriales provenientes de actividades a gran, mediana y pequeña escala en la costa caribe colombiana suponen afectaciones negativas en materia económica y ambiental a causa de su disposición final. En este trabajo se evaluó una alternativa de aprovechamiento de rastrojo de maíz (RM) mediante el concepto de biorrefinería, el cual permite generar distintos productos partiendo de una matriz biomásica. Con el fin de aprovechar integralmente la biomasa, se propuso un pretratamiento organosolv mediante uso de etanol (ET), para obtener por separado corrientes de lignina, hemicelulosas y pulpa celulósica, facilitando su conversión posterior. Debido a la necesidad de recuperación del ET, fueron evaluados tres enfoques de separación manteniendo fijo los flujos de entrada de RM (200 ton/h), ET acuoso (40% v/v; 1:20 RM/ET) y a condiciones de 160°C y 15 bar. El primer enfoque constó de etapas subsecuentes de precipitación de lignina con adición de agua y posterior destilación en una única torre (23 platos, 100 kPa). En el segundo enfoque, el ET es separado por destilación antes de precipitar la lignina, usando dos torres de 10 platos que manejan el 50% del flujo a separar, cada una y con presiones de 18 y 100 kPa; mientras que el tercer enfoque utilizó dos torres consecutivas de 10 platos sin división de flujo operadas a 100 kPa. La comparación se realizó considerando costo de los equipos, consumo de utilidades y el porcentaje de ET recuperado. El enfoque dos presentó menor costo de equipos (5,99 \$MUSD), en comparación al uno (7,69 \$MUSD) y al tres (7,94 \$MUSD). Finalmente, el enfoque dos presentó un menor consumo de utilidades con un ahorro de aproximadamente de 300,000 kW y de 5'000,000 kW en servicios de enfriamiento y calentamiento respectiva-

mente. Los resultados obtenidos sugieren la factibilidad del enfoque dos como etapa inicial de una biorrefinería para el aprovechamiento de rastrojo de maíz.

**Palabras Clave:** biorrefinería, rastrojo de maíz, organosolv, residuos agroindustriales, pretratamiento.

## CO-Digestión anaerobia de lactosuero y estiércol bovino a escala doméstica en el Instituto Técnico Agrícola de Cáchira

*Paula Rodríguez<sup>1\*</sup>, Juan Jaramillo<sup>1</sup>, Mcs. J. Jaimés-Estevez<sup>1</sup>, Dr. Erik Vera<sup>2</sup>,  
Dr. Liliana Castro<sup>1</sup>, Dr. Humberto Escalante<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), Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Cra 27# calle 9

<sup>2</sup>Rector, Instituto Técnico Agrícola Cáchira, Norte de Santander, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [paulayulieth97@outlook.es](mailto:paulayulieth97@outlook.es)

### Resumen

La educación con énfasis agrícola es un sistema educativo aplicado en Colombia. El Instituto Técnico Agrícola de Cáchira (ITAC), ubicado en Norte de Santander (7°44'10.6"N 73°03'03.0"W; 2,025m.s.n.m. Temperatura promedio:18±3°C), es uno de los 1,245 colegios con modalidad agropecuaria del país [1]. Actualmente el número de estudiantes del ITAC asciende a 170 quienes son formados como empresarios agrícolas a través del contacto con sistemas pecuarios. Los residuos con mayor volumen de generación en la institución son el estiércol bovino (EB:60kg/d) y el lactosuero (LS:5-25L/d). Su alta carga orgánica presente (107.72 y 37.7 gS-V/L para el EB y LS respectivamente) hacen que sean potenciales sustratos para ser aprovechados mediante la co-digestión anaerobia (CoDA)[2]. La CoDA es una tecnología que permite producir biogás y biofertilizante por medio de la biodegradación de materia orgánica a partir de un consorcio microbiano, aprovechando la sinergia entre sustratos [3]. La CoDA de LS:EB se ha estudiado a escala de laboratorio demostrando su factibilidad en rangos mesofílicos de temperatura [4]. Sin embargo, se requiere conocer la viabilidad de implementar un proceso de co-digestión LS:EB a escala doméstica bajo condiciones psicrófilas, siendo el ITAC el caso de estudio. El objetivo de esta investigación fue desarrollar un proceso de CoDA, bajo condiciones locales, evaluando el efecto de la adición de LS. Para el desarrollo de este trabajo se instaló un biodigestor doméstico de geomembrana

de alta densidad con un volumen de operación de  $5.2\text{m}^3$  (volumen total  $8\text{m}^3$ ). Este digester fue sometido a un proceso inicial de monodigestión en operación semicontinua, de una mezcla de EB:agua en una proporción 1:3. Posteriormente, la alimentación fue modificada agregando 10% de LS para evaluar su efecto. Para estudiar la estabilidad del bioproceso se midió diariamente la producción de biogás y se monitoreó de manera semanal el contenido de ácidos grasos volátiles (AGV) y alcalinidad total(AT)[5], sólidos volátiles(SV)[6] y la actividad metanogénica específica(AME)[7]. Los resultados obtenidos para la monodigestión de EB fueron  $1,172.2\text{mgCH}_3\text{COOH/L}$ ,  $493.3\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ ,  $5.5\text{g/kg}$  y  $0.023\text{gDQO-CH}_4/\text{gSV*d}$ , respectivamente. Lo anterior representa un buen desempeño en el proceso. En esta etapa se alcanzó una producción específica de biogás (PEB) de  $0.55\text{Nm}^3\text{biogás/KgSV*d}$  (producción promedio:  $1.24\text{m}^3/\text{d}$ ) con una concentración de metano de 50.4%. Al adicionar 10%LS se alcanzaron valores finales de AGV de  $480.3\text{mgCH}_3\text{COOH/L}$  ( $\text{AT}=400\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ ), lo cual representa una mejor remoción de materia orgánica de fácil degradación. La AME al final del proceso, en un tiempo de retención hidráulico de 75 días fue de  $0.047\text{gDQO-CH}_4/\text{gSV*d}$ . Adicionalmente, se obtuvo mejoras en el PEB y en la calidad de biogás alcanzando  $0.67\text{Nm}^3\text{biogás/KgSV*d}$  y 57% $\text{CH}_4$ , respectivamente. Estos resultados indican que el LS proporciona una carga orgánica y nutricional favorable para la producción de biogás sin riesgo de acidificación y mejora la AME de las archaeas presentes. La CoDA a escala doméstica de la mezcla LS:EB a) es un medio de gestión de más de 80 kg/d de residuos; b) genera un digerido con potencial uso fertilizante; c) produce energía para la cocción de alimentos para 170 estudiantes; y d) es un medio de formación niveles de educación básica, media y universitaria.

## Referencias

Ministerio de Educación Nacional, 2018. *Establecimientos*. Mineducación Colombia.

Recuperado de: <https://www.mineducacion.gov.co/>

Escalante, H., Castro, L., Amaya, M., Jaimes, L. y Jaimes-Estévez, J. (2018). Anaerobic digestion of cheese whey: Energetic and nutritional potential for the dairy sector in developing countries. *Waste Management*, 71, 711-718.

Garfi, M., Ferrer-Marti, L., Perez, I., Flotats, X., & Ferrer, I. (n.d.). Codigestion of cow and guinea pig manure in low-cost tubular digesters at high altitude. *ECOLOGICAL ENGINEERING*, 37(12), 2066–2070.

- Jaimés-Estévez, J., Castro, L. & Escalante, H. (octubre de 2018) Temperature effects on synergy in anaerobic co-digestion: cheese whey as study case. *Latin American Symposium on Anaerobic Digestion (DAAL) Thirteenth Edition*. Simposio llevado a cabo en Medellín, Colombia.
- Jobling Purser, B. J., Thai, S.-M., Esteves, S. R., Dindale, R. M., Guwy, A. J., & Fritz, T., 2014. An improved titration model reducing over estimation of total volatile fatty acids in anaerobic digestion of energy crop, animal slurry and food waste. *Water Research*, 61, 162–170.
- APHA, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, Washington.
- Astals, S., Baststone, D., Taid, S., Jensen, P., 2015. Development and validation of a rapid test for anaerobic inhibition and toxicity. *Water Res.* 81, 208–215.

## Evaluación del poder calorífico de un biocombustible sólido generado a partir de la biomasa residual del cultivo de banano criollo.

Didier Rodríguez<sup>1</sup>, Jacipt Ramón<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Agua, Aire y Suelos GIAAS, Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad de Pamplona, ciudadela universitaria, Edificio Ramón Gonzales Valencia, kilómetro 1 vía Bucaramanga, Pamplona, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [didier.rodriguez@unipamplona.edu.co](mailto:didier.rodriguez@unipamplona.edu.co)

### Resumen

Actualmente atravesamos por una época sumergida en un denso sistema de producción globalizado, a la cual se ha denominado como el principio de la era tecnológica. Vivimos rodeados de nuevas tecnologías, cuyo papel principal es el de facilitar el estilo de vida de la mayoría de la población mundial. Estos nuevos sistemas organizacionales y de producción, necesitan de un consumo colosal de energía, cimentado desde décadas atrás, en fuentes fósiles, cuyas emisiones y residuos, han desequilibrado el sistema climatológico y ecológico actual, generando un efecto invernadero y elevando el recalentamiento global.

En Colombia, además de la crisis global medioambiental, heredamos un conflicto socioeconómico donde el campesinado es el sector más afectado, a pesar de ser el pilar de sustento de una nación que tiene todas las condiciones para ser una despensa global de productos agrícolas.

Ante la situación medioambiental, se ha propuesto el desarrollo e implementación de energías renovables, las cuales presentan un amplio espectro de aplicabilidad y requieren de un trabajo profundo y mancomunado para poder ser el vector que mitigue el cambio climático sin afectar el funcionamiento energético global.

Ante la problemática nacional y los requerimientos energéticos, viramos nuestra mirada al gran potencial de generación de biomasa por parte del agro colombiano, y al mínimo aprovechamiento que se da a este recurso, debido en gran parte a la falta de políticas que implementen la tecnificación agrícola.

La presente investigación propuso aprovechar la biomasa residual del cultivo de banano criollo, debido a que es un cultivo con técnicas heredadas de siembra, con alta adaptabilidad y resistencia, muy bien conocido por el campesinado, de vida perenne, ciclo de producción relativamente corto y cuya tecnificación fue establecida desde hace décadas cuando Colombia era productora bananera con la variedad *gros Michel*. Algunos de los estudios realizados, muestran el tratamiento del pseudotallo de plantas de banano, para ser transformado en fibras que pueden ser utilizadas en diseño de telas, papel y artesanías. Por otra parte, valorando la opción energética, Natalia Giraldo Cano y Natalia Montoya, estudiantes de ingeniería ambiental de la universidad de Medellín, caracterizaron pseudotallo y hojas del banano para su potencial uso como combustible sólido; José Serrano y colaboradores, del grupo de ingeniería y reactores de catálisis, de la universidad de Cuenca, determinaron el potencial de generación eléctrica a partir de la combustión de biomasa en el Ecuador. Como ellas y ellos, muchos investigadores consideran el potencial biomásico del banano como fuente de generación energética.

Como producto de aprovechamiento, y objetivo principal de nuestra investigación, se planteó desarrollar un biocombustible de alto poder calorífico a partir de biomasa residual del cultivo de banano criollo, enriqueciendo el material con partículas de carbón mineral y aceites lubricantes de motor usados. Para tener más información acerca del material, se planteó evaluar la composición másica de una planta promedio de banano criollo, en base húmeda y seca. Una vez caracterizados los materiales, se propuso evaluar el poder calorífico de un bio-

combustible a base de residuos de biomasa, variando la concentración de los agregados de carbón.

A lo largo de la investigación, se requirió el desarrollo de procesos de secado, molienda, mezclado, y peletizaciones, previas a los análisis energéticos. Así mismo, se definieron operaciones de extracción de líquidos y secado, de acuerdo a la composición másica de una planta promedio de banano criollo, estableciendo un proceso mecánico de extracción, compuesto por triturado y prensado, sobre los componentes tallo y pseudotallo, con las que se retiró el 87,11% del agua presente en el tallo, y el 87,06% del agua presente en el pseudotallo, disminuyendo el gasto energético de secado. Los volúmenes de líquido extraído en la operación de triturado-prensado, constituyen una fuente de azúcares y potasio que deben ser analizadas para definir procesos de aprovechamiento.

Mediante procesos de secado de las diferentes partes que componen una planta de banano criollo, se dedujo que la composición total seca de una planta equivale al 23,78% del peso de la biomasa fresca. Así mismo la composición en base seca de una planta de banano criollo, equivale en un 7,49% a la biomasa seca presente en la planta al momento del corte, 15,92% equivale al tallo, 60,7% de pseudotallo, 10,18% a las láminas de hojas y 5,71% a las venas de hojas.

Finalmente, tras una evaluación del potencial calorífico de los componentes del Bio-C, se encontró un elevado potencial de la biomasa seca en comparación con el potencial del carbón puro, en la que la biomasa seca equivale al 49,75% del potencial del carbón mineral bituminoso, deduciendo una relación energética de 1:2, resultado que nos motivó a proponer el cultivo de banano criollo como cultivo energético.

**Palabras Clave:** Biomasa, Biocombustible, Potencial Calorífico, Energía Alternativa, Energía Sustentable.

## Evaluación del comportamiento térmico de biodigestores domésticos instalados en climas fríos

*Juan Jaramillo<sup>1\*</sup>, Paula Rodríguez<sup>2</sup>, J. Jaimes-Estévez<sup>2</sup>, Lilibian Castro<sup>1</sup>, Humberto Escalante<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), Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Cra 27 # calle 9.

\*Autor de Correspondencia: [satuple1108@gmail.com](mailto:satuple1108@gmail.com)

### Resumen

Colombia cuenta con características geográficas y climatológicas presentando diferentes pisos térmicos, desde climas cálidos ( $37.3 \pm 0.8^\circ\text{C}$ ) hasta temperaturas considerablemente frías ( $1.0 \pm 0.4^\circ\text{C}$ ) [1]. En estas regiones se presenta escasez energética por la falta de tecnologías descentralizadas [2], la cual podría ser suplida mediante procesos de digestión anaeróbica (DA) utilizando biodigestores de bajo costo. La DA es una biotecnología que permite la gestión de residuos orgánicos, generando biogás con alto contenido de metano y un lodo fertilizante [3]. La temperatura es una variable que afecta en gran medida este bioproceso. Condiciones ambientales entre  $25$  y  $42^\circ\text{C}$  (mesofilia) favorecen los rendimientos. Condiciones psicrófilas ( $<22^\circ\text{C}$ ) inhiben la actividad de los metanógenos encargados de la producción de  $\text{CH}_4$ . El estudio de la DA en climas fríos ha sido clave en la autonomía de comunidades aisladas [4]. Respecto a lo anterior se han realizado diferentes estudios en condiciones psicrófilas donde se evaluó el proceso biológico de adaptación microbiana [5] y los mecanismos de transferencia de calor para biorreactores de bajo costo [6, 7]. Sin embargo, el conocimiento es limitado respecto a implementar diseños bioclimáticos para mitigar los efectos de baja temperatura. El objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar el comportamiento térmico de dos digestores instalados en clima frío con diferentes diseños bioclimáticos. El biodigestor BDG-1 ha provisto de energía térmica a 160 cerdos durante 6 años. Está ubicado en Güicán-Boyacá, a 2963m.s.n.m. ( $6^\circ 27' 45.0''\text{N}$   $72^\circ 24' 43.0''\text{O}$ ), con temperatura ambiente promedio de  $16.6 \pm 6.0^\circ\text{C}$ . Fue elaborado con polietileno transparente y está protegido por un invernadero del mismo material. El biodigestor BDG-2 proporciona gas combustible a un comedor estudiantil de 210 asistentes. Está ubicado en Cáchira-Norte de Santander, a 1882m.s.n.m., ( $7^\circ 44' 7.0''\text{N}$   $73^\circ 3' 6.0''\text{O}$ ), con temperatura ambiente promedio de  $17.8 \pm 3.1^\circ\text{C}$ , el reactor está expuesto al ambiente, pero fue fabricado con geomembrana oscura. Ninguno de los dos digestores fue aislado térmicamente del suelo. Para estos digestores se monitoreó la temperatura del volumen de operación, suelo, aire ambiental y del invernadero. Los datos registrados muestran un comportamiento cuasi isotérmico del suelo (BDG-1  $16.384 \pm 0.0^\circ\text{C}$ , BDG-2  $20.638 \pm 0.0^\circ\text{C}$ ) y del lodo dentro ambos digestores (BDG-1  $17.8 \pm 0.1^\circ\text{C}$ , BDG-2

20.9±0.0°C). Las temperaturas del aire ambiente (BDG-1 promedio 16.6±6.0°C, máxima 30.3°C, mínima 7.7°C; BDG-2 promedio 17.8±3.1°C, máxima 29.1°C, mínima 10.9°C) y del invernadero (BDG-1 17.8±8.3°C) registraron variaciones significativas. Lo anterior debido a que la radiación solar debe atravesar la resistencia que ofrece el plástico del invernadero y/o del reactor, aumentando la temperatura del plástico y rechazando calor hacia la fase gaseosa circundante. El intercambio a través de mecanismos convectivos aísla parcialmente el lodo de las condiciones ambientales, provocando un equilibrio con el suelo por mecanismo conductivo. Las estrategias aplicadas para el BDG-1 elevaron la temperatura del lodo respecto del suelo 1.41°C, mientras que para el BDG-2 se elevó 0.30°C. Se concluye que el invernadero colecta la energía diurna que eleva la temperatura del lodo. La estabilidad y la temperatura mínima del lodo vienen dadas por el comportamiento térmico del suelo. Lo anterior sugiere como alternativa adicional para aumentar la temperatura del sistema, la implementación de aislantes entre el digestor y el suelo.

**Palabras Clave:** Digestión anaeróbica, psicrofilia, comportamiento térmico, estrategias de protección.

## Referencias

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (2019), Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos. Colombia. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, Encuesta Nacional de Calidad de Vida ECV (2016). Recuperado de <https://www.dane.gov.co>
- Martí-Herrero, J., Alvarez, R., Rojas, M. R., Aliaga, L., Céspedes, R., & Carbonell, J. (2014). Improvement through low cost biofilm carrier in anaerobic tubular digestion in cold climate regions. *Bioresource Technology*, 167, 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.115>
- Perrigault, T., 2009. Mejoramiento del comportamiento térmico de un biodigestor low-cost tipo plug-flow. M.Sc. Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya. España. Disponible en <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/9229>
- Dev, S., Saha, S., Kurade, M. B., Salama, E.-S., El-Dalatony, M. M., Ha, G.-S., Chang,

- S. W., & Jeon, B.-H. (2018). Perspective on anaerobic digestion for biomethanation in cold environments. *RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS*, 103, 85– 95. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.034>
- Perrigault, T., Weatherford, V., Martí-Herrero, J., & Poggio, D. (2012). Towards thermal design optimization of tubular digesters in cold climates: A heat transfer model. *Bioresource Technology*, 124, 259–268.
- Weatherford, V. C., & Zhiqiang Zhai. (2015). Affordable solar-assisted biogas digesters for cold climates: Experiment, model, verification and analysis. *Applied Energy*, 146, 209–216

## Aplicaciones de la planta de irradiación gamma del servicio geológico colombiano

Jormagn I. Abril M.<sup>1\*</sup>, Fabian A. Aguirre T.<sup>1</sup>, Leidy T. Avila P.<sup>1</sup>, Azarías Moreno M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Asuntos Nucleares, Planta de Irradiación Gamma, Dirección Técnica de Asuntos Nucleares, Servicio Geológico Colombiano, Cra 50 26-20 CAN

\*Autor de Correspondencia: [jabril@sgc.gov.co](mailto:jabril@sgc.gov.co)

### Resumen

El desarrollo industrial actual está ligado a la continua búsqueda de métodos alternativos de producción, que generen un impacto sea ambiental, social, económico, etc. Una de las tecnologías alternativas que ha contribuido con varias soluciones en diferentes sectores económicos ha sido la tecnología nuclear, derivada del uso de reactores nucleares y las interacciones a nivel nuclear que allí se generan. Los diferentes elementos de la materia transmutados tienen propiedades particulares a nivel atómico que, dependiendo en gran parte de sus periodos de vida media, pueden o no llegar a tener una aplicabilidad tecnológica y posiblemente industrial. El uso de la radiación ionizante proveniente de fuentes radiactivas o de equipos generadores de radiación, como medio bactericida es conocido desde principios del siglo pasado; la investigación aplicada en este campo ha conducido al uso del <sup>60</sup>Co, isótopo del Cobalto, como fuente de radiación gamma. La irradiación gamma con <sup>60</sup>Co ha sido utilizada en múltiples aplicaciones, como en procesos de descontaminación, desinfección y esterilización, aumento de vida útil en productos alimenticios, reacciones poliméricas, cambios de color en gemas, entre otras. El Servicio Geológico Colombiano cuenta con un irradiador gamma de <sup>60</sup>Co a escala piloto, de diseño y construcción nacional, que por sus características es apta para llevar a cabo buena parte de aplicaciones de la irradiación ionizante de diferentes tipos de materiales con múltiples fines. El

trabajo desarrolla cada aplicación por grupos tecnológicos ya reconocidos, dependiendo de su impacto y cantidad de dosis impartida, planteando las posibles opciones para que se desarrollen en el país a corto y mediano plazo.

**Palabras Clave:** Tecnología Nuclear, Radiación Ionizante, Aplicaciones de la irradiación gamma, Irradiador Gamma, Cobalto-60.

## **CAPITULO VI: Oil & gas**

*Líder de línea temática:*

Universidad San Buenaventura-Cartagena

En este capítulo se analizan estrategias de mejoras operativas y de diseño de procesos industriales dentro del sector de petróleo y gas en Colombia. Las prin-

cipales necesidades sobre la Ciencia, Tecnología e Innovación están relacionadas al diagnóstico y optimización de sistemas de refinería bajo investigaciones colaborativas industria-academia. Los estudios realizados por diversas universidades del país abordan análisis de riesgo de unidades de industrias Oil&Gas, aplicación de la herramienta de dinámica computacional de fluidos en técnicas de recobro mejorado, empleo de catalizadores eficientes en oxidaciones catalíticas, y variaciones operacionales en el fracturamiento hidráulico multietapa.

## **Análisis de riesgo y operabilidad HAZOP en tambores de una unidad de coquización retardada**

*Kelly Johana Cogollo Pabón<sup>1</sup>, Dayanna Castillo Vasco<sup>1</sup>, Juliana Puello Méndez<sup>1\*</sup>*  
<sup>1</sup>Grupo de Investigación GICI, Programa de Ingeniería Química,  
Universidad de San Buenaventura Cartagena, Dg 32 #30-966, Cartagena, Colombia  
\*Autor de correspondencia: [jpuello@usbctg.edu.co](mailto:jpuello@usbctg.edu.co)

## Resumen

El proceso de coquización retardada consiste esencialmente en un craqueo térmico, en el cual los fondos provenientes de la destilación al vacío se someten a altas temperaturas (aproximadamente 475°C) y presiones entre 10 – 30 psi, dando lugar al rompimiento de moléculas de hidrocarburos pesados con el fin de recuperar mediante fraccionamiento corrientes de gas, nafta, gasóleo liviano y gasóleo pesado. Dada la creciente importancia del proceso de coquización retardada para satisfacer la demanda de energía, junto con la gravedad de los incidentes que se han presentado a nivel internacional, se hace necesario considerar los riesgos asociados a este proceso semicontinuo. En el presente estudio se analizan los tambores de coque de una unidad de coquización retardada, con el fin de identificar los riesgos asociados al proceso. Inicialmente se analizan incidentes ocurridos en unidades de coquización retardada, con base en consulta de boletines de seguridad y reportes oficiales. Con base en la consulta de diagramas PID y manuales de planta se obtuvo información sobre la instrumentación, funcionamiento y variables operativas, y se definieron los tambores como el nodo a analizar mediante la metodología HAZOP, y se identificaron las variables de mayor relevancia en el proceso, como son la temperatura, la presión, flujo y nivel. Se identificaron los escenarios que representan mayor riesgo, tales como derrames de coque, liberación de vapor, sobrellenado del tambor, errores en la operación de descabezado del tambor, errores en la secuencia de las operaciones, entre otras. Con base en los escenarios identificados se plantearon las recomendaciones operativas, de diseño, de mantenimiento y prevención, pertinentes para mitigar o evitar accidentes cuyo impacto afecte al personal, al medio ambiente y a la empresa.

**Palabras Clave:** HAZOP, coquización retardada, análisis de riesgo, seguridad de procesos.

**Influencia de la calidad del agua de producción en aplicaciones de procesos de recobro mejorado (EOR)**

Lady Giraldo<sup>1</sup>, Giovanni Vergel<sup>1</sup>, Héctor Chacón<sup>1</sup>, Álvaro Villar<sup>2</sup>, Dalje Barbosa<sup>2</sup>, Nelson Briceño<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de los Llanos, km 12 vía Puerto Lopez – Vereda Barcelona, Villavicencio (Meta)

<sup>2</sup>Ecopetrol S.A. – Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), km 7 vía Piedecuesta, Piedecuesta (Santander)

\*Autor de correspondencia: [ljgiraldo@unillanos.edu.co](mailto:ljgiraldo@unillanos.edu.co)

## Resumen

En los últimos años el panorama de la industria de petróleo y gas ha incentivado la búsqueda de estrategias enfocadas en la integración de sus procesos y la sostenibilidad continua. Entre estas estrategias, es una prioridad la selección de alternativas para el destino del agua de producción. Particularmente, los campos petrolíferos de la región del piedemonte llanero presentan una relación agua/petróleo alta, aproximadamente del 60 %, facilitando la disponibilidad de agua de producción y su potencial en aplicaciones de recobro mejorado (EOR de sus siglas en inglés “Enhanced Oil Recovery”) como inyección de agua (*water flooding*) e inyección de polímero (*polymer flooding*). Los procesos EOR buscan mejorar la eficiencia de barrido de hidrocarburos en yacimiento, incrementando su producción en superficie. Sin embargo, la calidad del agua de producción utilizada en procesos EOR requiere ciertas condiciones en contenidos de grasas y aceites (GyA), sólidos suspendidos (SS), hierro disuelto ( $\text{Fe}^{+2}$ ) e iones divalentes (salinidad y dureza). Para el caso de GyA y SS, estos parámetros impactan directamente la inyektividad hacia el yacimiento, el  $\text{Fe}^{+2}$  sugieren procesos corrosivos (integridad) y los iones divalentes impactan la sensibilidad y variación de la viscosidad en las soluciones poliméricas. Este trabajo muestra el caso de estudio de los pilotos de inyección de agua y polímero del campo Chichimene, realizando el seguimiento de las variables desde el inicio del tratamiento del agua de producción hasta su proceso de inyección. Este seguimiento ha permitido determinar la incidencia e identificar los controles necesarios en la operación con el fin de incrementar la eficiencia de este tipo de proyectos EOR.

**Palabras clave:** EOR, Inyección de agua, Inyección de polímero, Aseguramiento y control de calidad (QAQC), Tratamiento de aguas de producción.

## Identificación de aspectos técnicos para reducción del contenido de sales, agua y sedimentos en un proceso de desalado de crudo mediante análisis

## estadístico multivariado

*Cesar Augusto Simancas Castilla<sup>1</sup>, Dayanne Luz Plata Cabarique<sup>1</sup>, Juliana Puello Méndez<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación de las Ciencias de las Ingenierías GICI, Programa de Ingeniería Química, Universidad de San Buenaventura Cartagena, Dg 32 # 30-966

\*Autor de correspondencia: [jpuello@usbctg.edu.co](mailto:jpuello@usbctg.edu.co)

### Resumen

La disminución del contenido de sal en las corrientes de crudo en las refinerías es uno de los tratamientos preliminares al proceso de destilación. Los esfuerzos asociados al desalado de crudos se deben a que las sales presentes ocasionan incrustaciones, corrosión e influyen negativamente en la transferencia de calor, resultando en procesos menos eficientes, aparte del aumento en costos por mantenimiento, debido a fallas prematuras, y el incremento en horas-hombre para dicho mantenimiento, así como un mayor consumo de energía. La presencia de sales en el petróleo representa problemas que se presentan desde la perforación de pozos y transporte de crudo, hasta los procesos de refinado. Además, en los crudos también se presentan determinadas cantidades de agua, que dependen de las características del depósito en donde los líquidos son producidos, tales como la edad de los pozos productores y los métodos de recuperación aplicados. Las desventajas de la presencia de agua y sal en la producción de petróleo son: a) el tamaño excesivo de las instalaciones de recogida, almacenamiento y transferencia de la mezcla de aceite y agua durante la etapa de producción y transporte y b) en la fase de transporte y refinación la presencia de cloruro de calcio y de magnesio disueltos en el agua que causan, bajo la acción del calor, la generación de ácido clorhídrico que afecta a las torres de destilación y la presencia de sales de sodio que reducen la vida útil de los catalizadores, lo que lleva a combustibles de baja calidad. Debido a que el contenido de agua en el crudo está directamente relacionado con el contenido de sales, se lleva a cabo una secuencia de procedimientos para separar la emulsión de crudo/agua, mediante tratamiento termoquímico seguido por aplicación de un campo eléctrico de alta tensión y por último la aplicación de un desemulsificante. Esta secuencia permite romper la película que rodea las pequeñas gotas de agua, ya que al aumentar la temperatura disminuye la tensión superficial, y se promueve la coalescencia a través del campo electromagnético que resulta en sedimentación gravitacional de las gotas de agua.

En este estudio se realiza un análisis estadístico del desempeño de un desalador de crudo con base en sus variables operativas, con el fin de identificar aspectos técnicos cuya implementación permita mejorar las condiciones de operación para la remoción de sales, agua libre no disuelta y sedimentos (%BS&W) en el crudo que ingresa a la unidad de destilación atmosférica, lo cual representaría un aumento de la vida útil de los equipos, la disminución en el consumo de energía y por ende un impacto económico positivo.

Con el fin de brindar una posible solución a estos problemas, en este estudio se analizan datos históricos, con ayuda de técnicas de análisis estadístico, para identificar alternativas de mejora orientadas a la operación normal de procesos de refinación.

**Palabras Clave:** Desalado de crudos, Análisis estadístico multivariado, Refinación.

## Efecto del envejecimiento acelerado en la viscosidad de corte cero de fondos de destilación al vacío

Mario Alvarez Cifuentes<sup>1</sup>, Natalia Afanasjeva<sup>2</sup>, Juliana Puello Méndez<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Asesor y Consultor en CyT

<sup>2</sup>Grupo de Investigación GICAMP, Departamento de Química, Universidad del Valle, Calle 13 #100-00 Campus Meléndez, Cali, Colombia

<sup>3</sup>Grupo de Investigación en Ciencias de la Ingeniería GICI, Programa de Ingeniería Química, Universidad de San Buenaventura Cartagena, Dg 32 #30-966, Cartagena, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [jpuello@usbctg.edu.co](mailto:jpuello@usbctg.edu.co)

### Resumen

Los fondos de la destilación al vacío son mezclas complejas de hidrocarburos, que exhiben un amplio rango de pesos moleculares y puntos de ebullición. Esta variedad de hidrocarburos hace que los fondos de la destilación al vacío se comporten como materiales viscoelásticos, es decir, que su comportamiento mecánico depende de la magnitud de las cargas que se ejercen sobre ellas, así como el tiempo y la temperatura a los que se aplican dichas cargas. Este comportamiento viscoelástico los hace apropiados como ligantes en la producción de mezclas asfálticas para pavimentación de vías. La naturaleza viscoelástica de estos fondos de vacío o ligantes bituminosos, ha generado interés por desarrollar especificaciones de calidad con base en propiedades fundamentales. Dichas

especificaciones de calidad para ligantes bituminosos consideran parámetros racionales para describir la consistencia y resistencia al envejecimiento de los ligantes. La viscosidad de corte cero es uno de los parámetros empleados para evaluar la resistencia de los ligantes bituminosos a la deformación permanente. En este trabajo se llevó a cabo un ajuste de datos de curvas maestra de viscosidad compleja versus frecuencia, usando el método de mínimos cuadrados, para tres modelos en los que aparece la viscosidad de corte cero. Los modelos considerados fueron el de Cross-Williamson (cuatro parámetros), el de Cross-Sybilski (tres parámetros) y el modelo de Carreau (cuatro parámetros). Los datos analizados corresponden a ensayos reológicos oscilatorios de los fondos de vacío provenientes de las refinerías colombianas Barrancabermeja y Apiay, y de un asfalto proveniente del complejo de refinación Llano Grande en Venezuela, cada uno en su estado inicial y envejecido aceleradamente en laboratorio, en ensayo de película fina rotatoria (Rolling Thin Film Oven Test - RTFOT) y en vaso de envejecimiento a presión (Pressure Aging Vessel - PAV). Se observó que la viscosidad de corte cero depende del grado de envejecimiento de cada ligante. A su vez, se observa menor dependencia con el origen del ligante. También se observó que los tres modelos evaluados permiten describir adecuadamente la relación entre la viscosidad compleja y la frecuencia de oscilación.

**Palabras Clave:** ligantes bituminosos, viscosidad de corte cero, fondos de vacío, ensayos reológicos, especificaciones de calidad para asfaltos.

## **Computational fluid dynamics (CFD) evaluation of experimental conditions in microfluidic experiments for surfactant performance analysis**

## in enhanced oil recovery

*Santiago Céspedes<sup>1</sup>, Alejandro Molina<sup>2</sup>, Farid Cortés<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Fenómenos de Superficie – Michael Polanyi, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.

<sup>2</sup>Grupo de Investigación de Bioprocesos y Flujos reactivos (BIOFRUN), Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.

\*Autor de Correspondencia: [sacespedeszu@unal.edu.co](mailto:sacespedeszu@unal.edu.co)

### Abstract

Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations of microfluidic devices were carried out to evaluate the effect of experimental conditions such as porosity, grain shape, presence of fracture, and injection velocity on rupture time, recovery factor, pressure drop, oil trapping, and fractal dimension in the flow pattern. Microfluidic devices (MD) are a good complement to core flooding tests as the former allow flow visualization and a higher throughput, i.e. more tests per day per instrument. For the 2D simulations, geometries that represent a commercial MD were generated with the commercial software CorelDRAW. The governing equations were solved based on the finite volume method using the software Fluent 19.1. Principal Component Analysis (PCA) was performed in order to find correlations between the analyzed variables and their influence on the response variables. The Volume of Fluid (VOF) model represented the multiphase flow where the surfactant displaced the oil present in the MDs. Simulations were validated with experimental data, the maximum relative error of oil recovery between experimental data and numerical result was 4%. Grid independency was also guaranteed. The surfactants analyzed had an interfacial tension that varied between 0.037 mN/m and 0.045 mN/m and the range of experimental variables was: porosity between 50- 70%, circular and irregular grain shape, fractured and nonfractured micromodels and injection velocity between 10-30 ft/day. After 32 CFD simulations with conditions that results from a factorial experimental design that varied the selected experimental variables, mathematical expressions that describe the change of the response variables with the experimental conditions with the highest impact on the process were obtained. The PCA analysis indicated that the porosity and the grain shape have the highest influence on the response variables as their combination explains 65% of the results. Contrary, the presence of fractures was identified as the variable with the least effect on the response variables. Oil entrapment was the response variable that better identi-

fied changes in the experimental conditions. The results indicate that CFD simulations can be used to accelerate the study of surfactants in MDs by mapping out the experimental conditions that more critically address the difference in surfactant performance.

**Keywords:** Microfluidics, CFD, CEOR.

## Desempeño de catalizadores de cromo impregnado sobre SBA-3 en la oxidación catalítica de ciclohexano usando oxígeno molecular

*Juan Rivera-Díaz<sup>1</sup>, Leda Perneti<sup>\*</sup>, Paolo Cuello-Peñaloza<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Química y Biológica, Universidad de Wisconsin, Madison-USA.

<sup>\*</sup>Autor de Correspondencia: ledaperneti@mail.uniatlantico.edu.co

### Resumen

Mediante la oxidación de ciclohexano se produce ciclohexanona y ácido adípico, los cuales son la materia prima para la producción de las poliamidas nailon 6 y 66, respectivamente. A escala industrial el ciclohexano se oxida en presencia de oxígeno molecular y sales de cobalto, un catalizador homogéneo, entre los 125 y 165 °C y presiones entre 0,8 y 15 MPa; produciendo un intermedio inestable llamado hidroperóxido de ciclohexilo (HPCL), el cual vía radicales libre se descompone en la mezcla ciclohexanona-ciclohexanol (KA oil).

Debido a la formación de HPCL es más sencillo oxidar la mezcla KA que el ciclohexano, por lo que a altas conversiones de ciclohexano los rendimientos para la mezcla KA son bajos. Por esta razón se opta por mantener la conversión baja, alrededor de 3 y 4%, separar los productos y recircular el ciclohexano, lo que incrementa los costos de producción y la huella de carbono de este proceso, además de perder parte del catalizador durante el proceso.

Por estas razones desde la catálisis heterogénea se han probado diversos catalizadores para esta reacción, incorporando dentro de la estructura de tamices moleculares como el SBA-3, SBA-15, MCM-4, óxidos metálicos de Au, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Zn, entre otros. Algunos autores han probado oxidar ciclohexano usando

peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) e hidroperóxido de terbutilo (TBHP) obteniendo altos valores para la conversión, sin embargo, estos oxidantes no son atractivos para la industria debido a sus altos costos.

En esta investigación se llevó a cabo la oxidación de ciclohexano en fase líquida, con oxígeno molecular, usando catalizadores de cromo soportados sobre SBA-3 (CrSBA-3). Los catalizadores fueron obtenidos mediante el método de impregnación húmeda incipiente usando diferentes relaciones de Si/Me y probados a tres temperaturas durante 3 horas de reacción a 0,9 MPa, las muestras fueron analizadas por cromatografía de gases. Los mejores resultados para la conversión y el rendimiento hacia la mezcla ciclohexanol (A) y ciclohexanona (K) se alcanzaron a 140 °C.

Entre los catalizadores, el CrSBA-3 50I mostró los valores más altos de conversión para ciclohexano, rendimiento para la mezcla KA y selectividad K/A; para este catalizador también se midió el efecto del tiempo de reacción. Se encontró que la conversión y selectividad hacia KA de estos materiales está fuertemente relacionada con la temperatura. La proporción o selectividad K/A estuvo en el rango de 1,78 a 3,48 mostrando que los catalizadores son más selectivos hacia la ciclohexanona que hacia el ciclohexanol.

**Palabras Clave:** Catálisis heterogénea, tamiz molecular, cromo, ciclohexano, KA oil.

## Estudio termoquímico de captura de CO<sub>2</sub> con aminas asistido por computadora

Stiven Huertas Cárdenas<sup>1</sup>, Daniel Rojas Méndez<sup>1</sup>, Mischel Stefany Toro Santos<sup>1</sup>, Mary Judith Arias Tapia<sup>2</sup>, Viktor Oswaldo Cárdenas Concha<sup>3</sup>, Jeffrey León-Pulido<sup>1\*</sup> <sup>1</sup>Tecnológico ONTARE, Ingeniería Química, Universidad EAN, Cl. 71 #9 - 84, Bogotá, Cundinamarca  
<sup>2</sup>Cartagena  
<sup>3</sup>Brasil

\*Autor de Correspondencia: [jleonp@universidadean.edu.co](mailto:jleonp@universidadean.edu.co)

## Resumen

La creciente demanda mundial de recursos energéticos ha llevado a la comunidad científica a estudiar alternativas para el tratamiento de combustibles y el planteamiento de energías limpias y amigables con el medio ambiente. Uno de los combustibles fósiles más relevantes a nivel industrial es el gas natural, en razón a su gran poder calorífico. No obstante, la presencia de gases ácidos como el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) deterioran la calidad (valor de calentamiento) y el rendimiento del proceso de licuefacción. Cuatro técnicas dirigidas a la remoción son usadas tradicionalmente: absorción, adsorción, membranas y captura criogénica. Así, el presente trabajo estudia el comportamiento termoquímico de absorción durante la remoción de CO<sub>2</sub> a partir de una solución acuosa de aminas, con el fin de mejorar la eficiencia de su tratamiento. El proceso de absorción y desorción es simulado simultáneamente para la captura del dióxido con aminas. Es posible atender una extracción de 90,6% de CO<sub>2</sub>, requiriendo 9,69 MW de energía. El modelo termodinámico seleccionado fue NRTL, el cual consigue describir la fenomenología del proceso, utilizando el software de procesos Aspen Plus V.10<sup>®</sup>. Los resultados simulados describen una eficiencia de 97% para el sistema de aminas. Finalmente, las propiedades termoquímicas de la captura de CO<sub>2</sub> fueron estimadas para comprender el comportamiento energético de los componentes asociados al proceso.

**Palabras Clave:** Gas natural, simulación, Oil&Gas, análisis termoquímico, remoción de CO<sub>2</sub>.

## Aprovechamiento de la cáscara de banano para la obtención de bioplástico

*Maria Fernanda Altamiranda Anaya<sup>1\*</sup>, Alix Gonzales Mancera<sup>1</sup>, Rodrigo Vasquez Novoa<sup>1</sup>,  
Luis Jesus Martinez Orozco<sup>1</sup>, Mary Judith Arias Tapia<sup>1</sup>, Jeffrey León-Pulido<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup>Tecnológico ONTARE, Ingeniería Química, Universidad EAN, Cl. 71 #9 - 84, Bogotá, Cundinamarca

\*Autor de Correspondencia: [mafeanayaladeus@hotmail.com](mailto:mafeanayaladeus@hotmail.com)

## Resumen

El uso de plásticos producidos a partir de combustibles fósiles se ha convertido en una gran fuente de ingresos a nivel industrial dada su aplicabilidad y utilidad en los diferentes campos, no obstante, la gran cantidad de residuos asociados a este proceso y su dificultad de degradación ha generado grandes esfuerzos en investigaciones en el área. Existen alternativas para el aprovechamiento de residuos y su transición para convertirlos en nuevos materiales. El presente proyecto estudia una alternativa metodológica para la obtención de un bioplástico a base de cáscara de plátano: el en proceso de síntesis de bioplástico fue utilizado el endocarpio de la cáscara de plátano (banano), partiendo del lavado de la cáscara con hipoclorito de sodio al 13%. Los plátanos fueron sometidos a un secado en condiciones controladas y posteriormente preparados, obteniendo la concha. Una inmersión en solución antiapardeamiento durante 5 minutos fue planteada para evitar la oxidación, usando zumo de limón. Consecuentemente, el producto obtenido fue mezclado con glicerina (3 ml), ácido acético (3%), fécula de maíz (8 g) y agua (20 ml) para la preparación de la mezcla. El proceso fue sometido a un calentamiento constante y estabilización de la torta base y estabilización de la granulometría y deshidratado. Finalmente, el material obtenido se le realizaron pruebas mecánicas y de biodegradabilidad soportadas en las normas ASTM con el fin de observar el material obtenido de fuente renovables.

**Palabras Clave:** Gas natural, simulación, Oil&Gas, análisis termoquímico, remoción de CO<sub>2</sub>.

**Efecto de las de interacciones fisicoquímicas entre complejos de asfaltenos-resinas y nanopartículas magnéticas sobre la viscosidad de un crudo pesado**

Diego A. Peña-Villamizar<sup>1,2</sup>, Paula A. Junieles-Galán<sup>1,2</sup>, M. Daniela Contreras-Mateus<sup>1</sup>, Diana M. Cañas-Martínez<sup>2</sup>, Emiliano Ariza León<sup>3</sup>, Arlex Chaves-Guerrero<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de investigación en Fenómenos Interfaciales, Reología y Simulación de Transporte - FIRST Universidad Industrial de Santander - UIS, Sede Guatiguará, Transv. Guatiguará, Calle 8N No. 3W-60, Barrio El Refugio, C.P. 681011, Piedecuesta (Santander), Colombia.

<sup>2</sup>Grupo de Investigaciones en Minerales, Biohidrometalurgia y Ambiente - GIMBA Universidad Industrial de Santander - UIS, Sede Guatiguará, Transv. Guatiguará, Calle 8N No. 3W-60, Barrio El Refugio, C.P. 681011, Piedecuesta (Santander), Colombia.

<sup>3</sup>Laboratorio de Espectroscopia Atómica y Molecular – LEAM Universidad Industrial de Santander - UIS, Sede Guatiguará, Transv. Guatiguará, Calle 8N No. 3W-60, Barrio El Refugio, C.P. 681011, Piedecuesta (Santander), Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [achavesg@saber.uis.edu.co](mailto:achavesg@saber.uis.edu.co)

## Resumen

Los asfaltenos, la fracción más pesada y polar del crudo, están constituidos por anillos aromáticos fusionados con cadenas alifáticas, heteroátomos (N, O y S) y trazas de metales de transición (Ni, V y Fe). Debido a que contienen la mayor cantidad de anillos aromáticos y grupos polares en el crudo, forman moléculas casi planas que pueden asociarse a través de enlaces  $\pi$ - $\pi$  para formar pilas similares al grafito. También se han identificado otros tipos de interacciones moleculares como ácido-base Brønsted, puentes de hidrógeno, polares, coordinación de metales, entre grupos ciclo alquilo y alquilo formando bolsas hidrofóbicas, y con resinas. Estas interacciones les confieren propiedades tensoactivas, lo que da lugar a mecanismos de autoagregación y adsorción en diferentes superficies (particularmente por la presencia de ácidos carboxílicos y fenolcarboxílicos débiles) que paralelamente comprometen los procesos de producción, transporte y refinado.

Varios investigadores han propuesto estrategias de remoción de asfaltenos empleando adsorción selectiva de asfaltenos en todas las etapas de producción. Particularmente, la nanotecnología se ha posicionado como una de las áreas de investigación con mayor impacto, dado que las nanopartículas presentan la ventaja de poseer gran área superficial y sitios activos que les confieren propiedades de selectividad excepcionales. Se ha observado que la adsorción de asfaltenos sobre nanopartículas se ve afectada por diferentes variables que han sido consideradas en diversas investigaciones que evalúan la interacción entre nanopartículas y asfaltenos en soluciones orgánicas y en sus estudios han tenido en cuenta factores como cinética de adsorción, superficie de contacto, concentración de asfaltenos, relación heptano/tolueno, temperatura, acidez superficial, tipos de técnicas de medición, análisis elemental y caracterización. Otros autores

se han encargado de estudiar la interacción entre asfaltenos y resinas. Sin embargo, a la fecha son pocos los estudios realizados en torno a las interacciones entre asfaltenos y nanopartículas en presencia de resinas (teniendo en cuenta su rol en la estabilidad coloidal de los asfaltenos), siendo este un escenario más cercano a la realidad.

Este trabajo propone la inclusión de nanopartículas de magnetita, teniendo en cuenta sus propiedades superparamagnéticas que facilitan la separación de los asfaltenos adsorbidos del sobrenadante al someter la solución a un campo magnético, en una mezcla solvente/asfalteno. Se estudia la adsorción de los asfaltenos sobre la superficie de estas nanopartículas, teniendo en cuenta la influencia de las resinas. Como primera etapa se separan los asfaltenos y resinas pesadas en tres pasos secuenciales resumidos en: i) extracción de resinas pesadas con n-pentano, ii) extracción de asfaltenos con n-heptano y, iii) purificación de asfaltenos con tolueno. Se realiza una caracterización de los asfaltenos, nanopartículas y resinas empleando técnicas espectroscópicas y microscópicas. Se construyen isothermas de adsorción de estos complejos suspendidos en tolueno, empleando Espectrofotometría UV-vis y termogravimetría. Se observa que la adsorción de asfaltenos sobre magnetita sigue el modelo de Langmuir tipo I, que indica adsorción monocapa. Se evalúan las modificaciones en la interacción asfaltenos – nanopartículas por la inclusión de resinas y se establece un procedimiento para la separación de los sólidos adsorbidos del sobrenadante.

**Palabras Clave:** Asfaltenos, nanopartículas, isothermas de adsorción, Langmuir tipo I, resinas

## Diagnóstico del efecto neto en el ciclo del agua de la práctica de fracturamiento hidráulico multietapa en recursos no convencionales

*Eusebio José Orozco Cera\*, María Angélica Legarda Zúñiga.*

\*Autor de Correspondencia: [eusebiorozco@gmail.com](mailto:eusebiorozco@gmail.com)

## Resumen

Planteamiento del problema. Confrontar con datos la incertidumbre social sobre el uso de agua en operaciones HF multietapa mostrando que una normativa que regule enfocada a caudales puede mitigar y/o eliminar el efecto en el ciclo de agua estacional.

Justificación. Existe data y diversidad de estudios disgregados pero no acordeamente integrados para uso ante comunidades y ninguno da un acercamiento a la utilidad o no de una regulación de caudales para aprovechamiento de agua para fines HF multietapa.

Introducir un manejo de datos, estadísticas y estado del arte permitiría un manejo más técnico a las discusiones y diálogos. Los medios de comunicación y muchos grupos ambientalistas, políticos y personajes han tomado partido en contra del fracturamiento hidráulico en no convencionales usando como bandera opiniones sobre el uso de agua en estas actividades. Con los argumentos presentados en este análisis, bases y análisis numéricos simples se puede mostrar por qué estos enfoques de opinión sobre uso de agua como irracional están totalmente distorsionados.

Estado del arte. Entre los diversos estudios previos cercanos no existe alguno que inicie con un acercamiento al ciclo del agua y muestre el agua tanto como recurso renovable como su posibilidad de ser manejado en caudales es decir en límites temporales reconstitutivos. Toda esta incertidumbre en cuanto al uso racional del agua en operaciones HF multietapa por diferentes actores en la sociedad ha sido muy difundida con opiniones y/o tergiversaciones sobre datos erróneos causando un falso dilema entre agua o petróleo.

Los objetivos. 1- Mostrar cómo la innovación ha mejorado las métricas en el uso racional del agua en HF multietapa.

Un acercamiento estadístico y de balance de materiales del uso del agua en la actividad HF multietapa.

Mostrar como una regulación para el uso industrial del agua en caudales permitiría no afectar el ciclo del agua ya que serían estados y fracciones de caudales estacionales, mientras se de esta condición se podría evitar la alteración del ciclo del agua si se da una expansión de la actividad.

Resultados y conclusiones. 1- En la hipótesis de que el EUR en los Pozos no convencionales sea mayor al de los Pozos convencionales la obtención en el ciclo de agua vía vapor implicaría un efecto neto positivo en el ciclo del agua, sin embargo, también mayores emisiones de CO<sub>2</sub>E.

2- En la hipótesis de mejores calidades comparativas de los crudos y/o gas natural de no convencionales versus los hidrocarburos convencionales actualmente producidos, implicaría mejores y menores tratamientos en el ciclo de obtención de los productos esto es menores requisitos de uso de agua y energía necesarios en el ciclo.

**Palabras Clave:** ciclo del agua, incertidumbres sociales, legislación recursos naturales, EUR, CO<sub>2</sub>E.

## **Effect of bielemental au-pd supported on ceria-zirconia mixed oxide nanocatalysts on *N*-C<sub>7</sub> asphaltene oxidation under high pressure conditions**

*Oscar E. Medina<sup>1</sup>, Farid B. Cortés<sup>1</sup>, and Camilo A. Franco<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Fenómenos de Superficie – Michael Polanyi, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, Colombia.

\*Autor de correspondencia: oemedinae@unal.edu.co

## Abstract

This study was carried out with the aim of evaluating the effect of the high pressure on the oxidation kinetics of n-heptane insoluble asphaltenes in presence and absence of AuPd/Ce<sub>0.62</sub>Zr<sub>0.38</sub>O<sub>2</sub> catalysts. Bielemental Au-Pd catalysts with Au:Pd molar ratios from 2.2 to 3.6 were synthesized by two methods (i) simultaneous deposition precipitation of Au and Pd (3:1AuPdDP) and (ii) deposition precipitation of Au and followed by incipient wetness impregnation of Pd (3:1AuPdDPI, 10:1AuPdDPI). The surface area of the catalysts was determined by N<sub>2</sub> adsorption at -196 °C. Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry was employed to determine the Au and Pd loadings of the catalysts. Also, X-ray diffraction analyses, transmission electron microscopy experiments and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) analyses were performed. Adsorption isotherms between hydrocarbons and nanocatalysts were constructed varying the initial asphaltene concentration from 100 mg·L<sup>-1</sup> to 1500 mg·L<sup>-1</sup>. Thermogravimetric analyses were performed under air atmosphere, at different pressures from 0.084 MPa to 6.0 MPa in a wide temperature range between 100 °C - 800 °C with a heating rate of 10 °C·min<sup>-1</sup>. Kinetic parameters were calculated using a first-order kinetic model, considering the system pressure. Adsorption affinity increases in the order Supporty < 3:1AuPdDP < 3:1AuPdDPI < 10:1AuPdDPI. The catalytic activity of employed nanocatalyst was highly dependent on the temperature and pressure applied. Their presence reduces the n-C<sub>7</sub> asphaltene temperature decomposition from 450 °C to temperatures below 200 °C for all catalysts used at 6 MPa. The main decomposition peak is presented at 150 °C, 170 °C, 175 °C and 210 °C for 10:1AuPdDPI, 3:1AuPdDPI, 3:1AuPdDP, and Supporty, respectively. Besides, the oxygen chemisorption (OC) region is favored as the material has a greater catalytic activity, increasing from 9.0% to 14.0 % for the support and 10:1AuPdDPI catalyst, and corroborated with the activation energy, which is reduced by more than 30% for all pressures evaluated with the best system. The fact that both the pressure and the catalytic activity of the material favor the OC event implies an improvement in the other thermal events during the thermal decomposition of n- C<sub>7</sub> asphaltenes, because there is an enrichment of oxygen atoms on the surface of the material, which promotes reactions of cracking, and

subsequent oxidation of free radicals. In this sense, 89.0% and 80.0% of mass is lost in DCO thermal event for the 10:1AuPdDPI and 3:1AuPdDPI nanocatalysts, respectively. Finally, first and second combustion were carried out at temperatures below of 240 °C at 6.0 MPa for 10:1AuPdDPI system, being a very promising result to determine the reaction pathway for the heavy and extra-heavy crude oils during EOR application.

**Keywords:** Adsorption; asphaltene; Au–Pd alloy nanoparticles; catalytic oxidation; ceria–zirconia mixed oxide.

## Emulsion formation and stability during the weathering of colombian crude oils at conditions relevant to the colombian Caribbean sea

*Cristian Celis<sup>1</sup>, Juan Ramírez<sup>1</sup>, Alejandro Molina<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Facultad de Minas, Departamento de Procesos y Energía, Bioprocesos y Flujos Reactivos, Car. 80 #65-22, Medellín, 50041, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [amolinao@unal.edu.co](mailto:amolinao@unal.edu.co)

### Resumen

The emulsification process and the stability of the emulsions formed by artificial seawater and two Colombian oils: Cusiana and Vasconia and two surrogates of Castilla blend and Caño Limon were studied at conditions relevant to the weathering of an oil spill. The emulsions were formed by mixing 200 ml of artificial seawater (35 PSU) and 20 ml of the oil in a linear shaker with a water bath temperature control operating at 30 °C and 180 rpm. The amount of water migrating to the oil phase was estimated from the height of the oil/water mixture. Measurements were typically performed at defined time intervals (5 min, 10 min, 15 min and 30 min, 1 h, 2 h, 4 h, 6 h, 8 h, 12 h and 24 h) for a total of 24 hours. While the samples of Cusiana and Vasconia oils were obtained from a local laboratory, those of Castilla blend and Caño Limon surrogates resulted from mixing various crudes in a proportion that guaranteed SARA values similar to those reported in the literature for the original blends. While Vasconia, Caño Limon (s) and Castilla Blend (s) were available to form stable emulsions, the emulsions obtained from Cusiana emulsion were unstable. Experimental results were used to estimate parameters used to model weathering during an oil spill in the Colombian Ca-

ribbean Sea such as emulsion stability ( $R_{1/2}$ ), maximum water uptake ( $Y_{max}$ ), and half-life index ( $t_{2/1}$ ).

**Palabras Clave:** Weathering, Emulsification, Emulsion Stability, Oil spill.

## Estudio del efecto de sales inorgánicas en las propiedades reológicas de surfactantes aniónicos usados en recobro mejorado de petróleo

*Linda Suárez<sup>1</sup>, Adler Brugés<sup>1</sup>, Miguel Rondón<sup>1</sup>, Ronald Mercado<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Fenómenos Interfaciales, Reología y Simulación de Transporte- FIRST, Universidad Industrial de Santander

\*Autor de correspondencia: [ramerca@uis.edu.co](mailto:ramerca@uis.edu.co)

### Resumen

Durante los últimos años se ha generado la necesidad de formular e implementar nuevas técnicas mejoradas de recobro de petróleo que permitan una extracción profunda, aumenten el factor de recuperación y minimicen los impactos ambientales.

Dentro de los métodos de recobro empleados actualmente se encuentran los tratamientos químicos (polímeros, surfactantes, álcalis, entre otros), dentro de los cuales se han destacado las soluciones poliméricas.

Los polímeros son agregados normalmente para aumentar la viscosidad del agua de inyección, generando una relación de movilidad adecuada entre el crudo y la solución polimérica, de esta forma se origina un barrido o desplazamiento de crudo dentro de la formación y se logra así una mayor recuperación. Sin embargo, la acción del polímero se ve afectada en presencia de altas salinidades. Por otra parte, el surfactante permite la reducción de la tensión interfacial pero no permite aumentar la viscosidad de las formulaciones en condiciones normales.

Algunos trabajos en otras áreas han demostrado que es posible la formación de complejos micelares que pueden conllevar a un aumento de la viscosidad al incluir diferentes tipos de sales. Se contempla entonces la posibilidad de obtener resultados favorables mediante la inclusión de sales de origen inorgánico, de

manera que logren un aumento significativo en la viscosidad de la fórmula, sin necesidad de introducir un polímero.

Los surfactantes aniónicos poseen moléculas cargadas negativamente. Son los de mayor aplicación en procesos de inyección, dado a su resistencia a la retención, sea esta por adsorción, precipitación o filtración, además de ser económicamente viables.

En este trabajo se estudió la interacción de fórmulas de surfactantes aniónicos con sales inorgánicas evaluando el efecto de la concentración de la sal y del surfactante y la influencia de la valencia del catión sobre el comportamiento reológico del sistema. Se usaron dos surfactantes aniónicos, uno de tipo sulfonato de olefina interna y otro de cadena extendida y se seleccionaron tres sales inorgánicas, teniendo en cuenta la diferencia en la valencia de su catión: sal monovalente (NaCl), sal divalente ( $\text{CaCl}_2$ ) y sal trivalente ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ).

A partir de los resultados obtenidos se puede establecer que la viscosidad del sistema surfactante aniónico/sal inorgánica puede aumentar significativamente. Este efecto depende directamente del tipo de sal y las concentraciones de surfactante y sal; y se debe a la formación de agregados micelares. Se reportan viscosidades más importantes con el uso de NaCl y  $\text{CaCl}_2$ , siendo el  $\text{CaCl}_2$  la sal que presentó mayores valores. Por otra parte, el uso de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  no garantiza el aumento de la viscosidad principalmente por limitaciones en la solubilidad del complejo formado. Por lo tanto, se puede inferir que es posible aumentar la viscosidad del sistema sin utilizar polímeros en la solución, lo cual puede ser una técnica prometedora a ser usada en yacimientos de alta salinidad.

**Palabras Claves:** Reología, Micelización, EOR, surfactantes, sales inorgánicas.

## **Efecto de la concentración y el tipo de polímero y surfactante en el comportamiento reológico y en la**

## tensión interfacial en formulaciones químicas para recobro mejorado del petróleo

Diego Santos<sup>1\*</sup>, Laura Vargas<sup>1</sup>, Ronald Mercado<sup>1</sup>, Miguel Rondón<sup>1</sup>, Henderson Quintero<sup>2</sup> <sup>1</sup>Grupo de Investigación en Fenómenos Interfaciales, Reología y Simulación de Transporte FIRST, Escuela de ingeniería química, Universidad Industrial de Santander

<sup>2</sup> Instituto Colombiano del Petróleo – Ecopetrol, Piedecuesta, Santander

\*Autor de Correspondencia: [diego.santos@correo.uis.edu.co](mailto:diego.santos@correo.uis.edu.co)

### Resumen

En el proceso de extracción de hidrocarburos por medio de métodos químicos existe la inyección conjunta de polímero-surfactante, siendo una de las técnicas más convenientes con relación a la recuperación final, debido a que logra, por otra parte, la reducción de la tensión interfacial entre el aceite y agua y por otra, una relación de movilidad favorable que permite un barrido uniforme por el aumento en la viscosidad del frente de desplazamiento. Este método se encuentra limitado esencialmente por la modificación en el desempeño los surfactantes en presencia de polímero y viceversa.

En este trabajo se propone el estudio de la variación de la tensión interfacial en presencia de polímero y del comportamiento de la viscosidad de la solución en presencia de surfactante. Se evaluaron tres surfactantes de diferente naturaleza (Extendido, Olefina Interna y No Iónico) a concentraciones alta, media y baja y mediante barridos de formulación se determinó las salinidades óptimas correspondientes observándose variaciones de hasta un orden de magnitud entre ellas.

Con base a esto, se evaluaron sistemas polímero-surfactante a tres salinidades en presencia de tres polímeros, los cuales fueron dos de tipo HPAM con distinto peso molecular y un biopolímero, y tres surfactantes a tres concentraciones diferentes. La matriz experimental estuvo conformada por 189 soluciones a las cuales se llevó a cabo la medición de la tensión interfacial y de la viscosidad a diferentes tasas de corte. Según los resultados, se observó que, para los surfactantes iónicos, la presencia de polímero tipo HPAM modificó el comportamiento interfacial en bajas salinidades, mientras que la presencia de biopolímero aumentó la tensión interfacial en todos los rangos de salinidades estudiados. Por otra parte, para el surfactante no iónico no existió influencia del polímero. En el caso del comportamiento reológico, el biopolímero sólo tuvo afectación

significativa en su comportamiento por la presencia de surfactante a alta concentración en salmueras de alta salinidad. Por otro lado, los polímeros de tipo HPAM, produjeron variaciones significativas en el comportamiento reológico del sistema que lo contiene, especialmente a altas salinidades.

Finalmente, se observó que, tanto la carga electrostática del surfactante como la carga y el tamaño de molécula del polímero, son factores que determinan si existen efectos significativos en las propiedades tanto reológicas como interfaciales de las soluciones.

**Palabras Clave:** Tensión interfacial, Reología, Viscosidad, Recobro mejorado del petróleo

## CAPÍTULO VII: Procesos y ciencia

---

*Líder de línea temática:*

**Juan Sebastián Guerrero Pérez**

Universidad del Valle

Este capítulo agrupa trabajos enfocados a equilibrios de mezcla líquido-vapor, propiedades de transporte de sustancias químicas, la ciencia detrás de sistemas de procesos con cannabis medicinal y aceite de trementina, así como la construcción de reactores mediante impresión 3D. La ingeniería química, entre la Ciencia y la Innovación, articula los conocimientos científicos y tecnológicos con sectores productivos diversos mediante la identificación de mercados potenciales, diseño del proceso químico, y cadenas de distribución y comercialización.

## Equilibrio isobárico líquido-vapor para la mezcla binaria de lactato de isoamilo y alcohol isoamílico A 0.3 KPA

Jessica Velandia<sup>1</sup>, César García<sup>1</sup>, Gerardo Rodríguez<sup>2</sup>, Iván Gil<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Procesos Químicos y Bioquímicos, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

\*Autor de correspondencia: idgilc@unal.edu.co

### Resumen

El lactato de isoamilo es una molécula con aplicaciones industriales tales como: alimentos, recubrimientos y aplicaciones de la industria médica<sup>1</sup>. Se reportan usos como disolvente para barnices, pinturas, aceites y colorantes<sup>2</sup>. Actualmente, los lactatos producidos por alcoholes de cadena corta (C1-C4) se producen mediante la esterificación directa del ácido láctico en un reactor seguido de la separación en varias unidades de destilación<sup>3</sup>, para mejorar la conversión de equilibrio uno de los reactivos debe estar en exceso o uno de los productos debe eliminarse continuamente de la reacción, este último se puede lograr mediante la separación del agua por destilación simultánea ventaja que se obtiene en la destilación reactiva. Con el fin de estudiar la producción de los lactatos mediante destilación reactiva se requieren datos experimentales del proceso de separación del sistema.

Actualmente, no se han encontrado datos en la literatura abierta del equilibrio líquido-vapor (ELV) para la mezcla lactato de isoamilo y alcohol isoamílico. Peña-Tejedor y col<sup>4</sup> determinaron los equilibrios líquido-vapor isobáricos a 101.3 kPa para los sistemas etanol- lactato de etilo, isopropanol-lactato de isopropilo y butanol-lactato de butano. Sanz y col<sup>5</sup> determinaron los equilibrios líquido-vapor isobáricos del sistema metanol-lactato de metilo a 33.33, 66.66 y 101.3 kPa. Sanz y col<sup>6</sup> determinaron los equilibrios líquido-vapor isotérmicos del sistema binario lactato de metilo-agua a 283.15, 293.15 y 303.15 K. Vu y col<sup>7</sup> determinaron los equilibrios líquido-vapor isotérmicos de los sistemas binarios lactato de etilo-etanol a 40, 60.1 y 80.2 °C y el lactato de etilo-agua a 40 y 60 °C.

En este trabajo se realizó la medición experimental del ELV para el sistema lactato de isoamilo y alcohol isoamílico a 0.3 kPa. Las mediciones del equilibrio se llevaron a cabo en el equipo Fischer Technology by Iludest VLE-602, y las muestras

obtenidas se analizaron mediante cromatografía de gases utilizando el equipo Shimadzu 2010 plus. Los datos experimentales ( $T$ ,  $x$ ,  $y$ ) obtenidos se presentan en la Figura 1, no se encontró azeótropo en este sistema. Posteriormente, se evaluó la consistencia termodinámica de las mediciones experimentales utilizando los métodos presentados por Herington y Fredusland. Por último, se determinaron los parámetros de interacción binaria correspondientes para los modelos de actividad NRTL y UNIQUAC, empleando el método de regresión no lineal de la herramienta de regresión disponible en Aspen Plus V9. Los datos experimentales de VLE y los parámetros obtenidos proporcionan información termodinámica para estudios relacionados con la separación de mezclas del sistema analizado y para la síntesis de lactato de isoamilo por destilación reactiva.

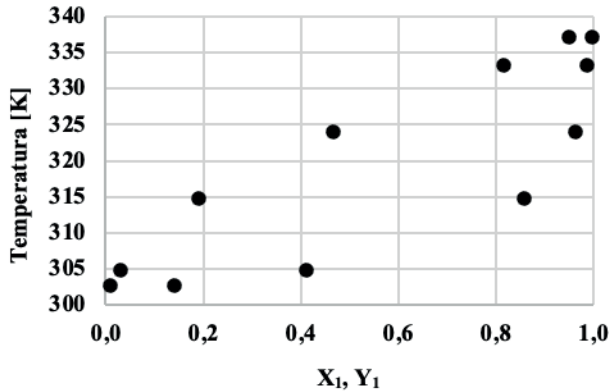


Figura 1. Diagrama T-x-y para el sistema lactato de isoamilo (1) – alcohol isoamílico (2) a 0.3 kPa

**Palabras Clave:** Equilibrio líquido-vapor, lactato de isoamilo, alcohol isoamílico.

## Cannabis medicinal: Etapas e ingeniería del proceso

*Iván Gil<sup>1</sup>, Gerardo Rodríguez<sup>1</sup>, Julio Vargas<sup>1</sup>, Ignacio Rodríguez<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Procesos Químicos y Bioquímicos, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

\*Autor de correspondencia: [idgilc@unal.edu.co](mailto:idgilc@unal.edu.co)

### Resumen

En Colombia, la ley 1787 de 2016 y el decreto 613 de 2017 reglamentaron por primera vez el acceso al uso médico y científico del cannabis. Se establece la exigencia de licencias para el uso de semillas para siembra, el cultivo de plantas de cannabis psicoactivo (THC>1%), el cultivo de plantas de cannabis no psicoactivo (THC<1%) y la fabricación de derivados. El creciente interés agroindustrial en torno al cultivo de Cannabis ha generado nuevas oportunidades para el país. De hecho, departamentos como Boyacá, Antioquia, Cauca y Cundinamarca tienen un potencial de desarrollo gracias a las nuevas leyes y decretos que permiten el cultivo y producción de Cannabis con fines medicinales y científicos. El Grupo de Procesos Químicos y Bioquímicos del Departamento de Ingeniería Química y Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia, actualmente adelanta investigaciones orientadas a generar valor agregado en la cadena productiva del Cannabis, impulsando el trabajo conjunto entre la academia, la industria y la sociedad. En este trabajo se hace una revisión de las diferentes etapas involucradas en la generación de productos de valor agregado a partir de cannabis. Se discuten los principales aspectos relacionados con la ingeniería del proceso desde la etapa de poscosecha hasta las etapas de purificación de extractos. También se colectan las principales técnicas de caracterización química requeridas para identificar y cuantificar el contenido de terpenos y cannabinoides ácidos y no ácidos en el material vegetal y en los extractos de cannabis.

El Grupo de Procesos Químicos y Bioquímicos tiene dentro de sus capacidades investigativas el estudio de diferentes métodos de secado del material vegetal, prueba de diversas alternativas de extracción de cannabinoides, con solventes, y con fluidos supercríticos. También existe la posibilidad de adelantar estudios de destilación al vacío y molecular como principal alternativa tecnológica de refinación de extractos, para obtener productos con la pureza y características requeridas en aplicaciones como en la industria de los aromas (terpenos) y en la

de productos medicinales (cannabinoides), aplicaciones que constituirán nuevas oportunidades para Colombia. En etapas posteriores del desarrollo de proyectos de cannabis, es posible realizar estudios de análisis económico, con base en un portafolio de diferentes productos con potencial medicinal a partir de extractos ricos en cannabinoides, y con potencial en la industria de aromas. Con el propósito de cubrir un espectro más amplio de valorización y aprovechamiento de residuos, se están evaluando alternativas de utilización de cáñamo para la producción de materiales en diferentes aplicaciones, y el uso de residuos de tallos, raíces y otros materiales vegetales en la producción de alimentos para animales. Estos desarrollos tienen el soporte y colaboración de empresas del sector del cannabis, con las licencias requeridas para el cultivo de plantas psicoactivas y no-psicoactivas, en modalidad investigación, y para la fabricación de productos psicoactivos y no-psicoactivos, con propósitos de investigación.

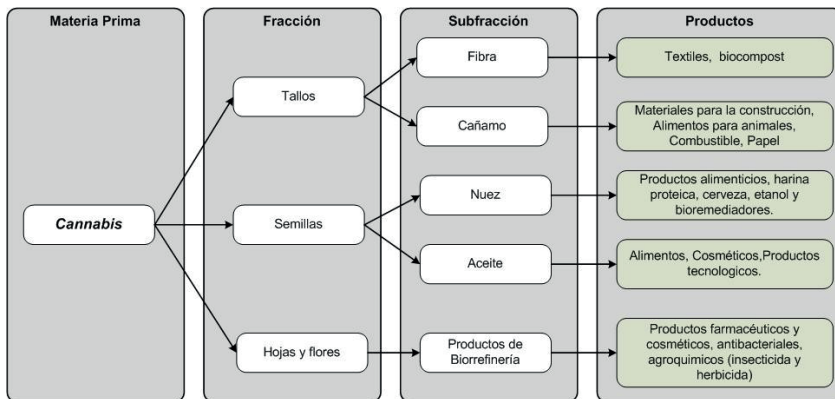


Figura 1. Usos potenciales del Cannabis adaptado de (4)

**Palabras Clave:** Extracción, destilación molecular, secado de cannabis, full spectrum.

## Alternativas de producción y estudio técnico-económico de la síntesis de nopol usando aceite de trementina

*Saleth Causil Durango, Aída Luz Villa\*, Luis Gallego Villada*

Grupo de Investigación Catálisis Ambiental, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Carrera 53 N° 61-30 - Laboratorio 332-333, Medellín, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [aida.villa@udea.edu.co](mailto:aida.villa@udea.edu.co)

### Resumen

Colombia cuenta con una superficie de más de 24,8 millones de hectáreas aptas para reforestación comercial, que están beneficiadas por las excelentes condiciones edafoclimáticas que potencializan el sector forestal. Del total de hectáreas aptas para plantaciones forestales, solo se está usando el 1.25 % (310138 ha); en las cuales predomina el género *Pinus* (108000 ha), del cual se extrae el aceite de trementina que corresponde a uno de los subproductos forestales no maderable de importancia.

El objetivo de esta investigación fue evaluar diversas alternativas de la producción catalítica de nopol, un alcohol utilizado en la industria agroquímica, en productos para el hogar, de alimentos, polímeros y en la industria farmacéutica. Se evaluó la síntesis de nopol mediante la reacción de Prins entre  $\beta$ -pineno y formaldehído, utilizando aceite de trementina como fuente de  $\beta$ -pineno. Se llevaron a cabo estudios cinéticos usando el sistema catalítico Sn/MCM-41 y acetato de etilo como solvente. Se plantearon y analizaron tres alternativas del proceso de producción de nopol variando la materia prima:  $\beta$ -pineno puro o aceite de trementina, que se utilizó para extraer el  $\beta$ -pineno o se utilizó sin tratamiento. Se propuso un diseño mecánico completo de la unidad de reacción (reactor agitado por lotes con sistema de calentamiento), basado en resultados experimentales y modelos cinéticos utilizando el software Matlab®. Las simulaciones de las etapas del tratamiento de la materia prima y la purificación de los productos (tren de columnas de destilación ordinarias) se llevaron a cabo utilizando el software Aspen Plus®.

Se determinó la viabilidad tanto técnica como económica de cada alternativa propuesta. La alternativa seleccionada fue la que utiliza aceite de trementina

sin tratamiento para la producción de nopol, dada la simplicidad del proceso, la disponibilidad de la materia prima y los costos operativos asociados con el consumo de los flujos de servicio (electricidad, vapor de agua, refrigerante, aire, agua de servicio).

**Palabras Clave:** Nopol, aceite de trementina, evaluación técnico-económica, proceso de producción.

## Caracterización y selección de minerales calcáreos del complejo aleluya - departamento del huila con potencial uso como mejoradores de suelo

*Eileen K. Coronado<sup>1</sup>, Daniela M. Bernal<sup>1</sup>, Laura R. Conde<sup>1\*</sup>, Juan C. Molano<sup>2</sup>, Miguel F. Ortiz<sup>2</sup>, Ariel O. Cadena<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Ingeniería de Procesos y Sistemas Industriales, Maestría en Ingeniería de Procesos y Sistema Industriales, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Carrera 4 N.º 22- 61, Bogotá D. C

<sup>2</sup>Grupo de Investigación Caracterización Tecnológica de Minerales, Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

\*Autor de Correspondencia: [laurar.conder@utadeo.edu.co](mailto:laurar.conder@utadeo.edu.co)

### Resumen

El departamento del Huila se posiciona como una zona estratégica para la comercialización de insumos agrarios debido a su ubicación geográfica próxima a las zonas agrícolas del país, en las cuales predomina la presencia de suelos ácidos. Además, el departamento es una fuente de minerales calcáreos que pueden emplearse como modificadores del pH del suelo gracias a su capacidad de neutralizar la acidez. Teniendo en cuenta que la composición y características de los minerales calcáreos pueden variar de acuerdo con el yacimiento geológico del que se extraen, se hace necesario estudiar las propiedades petrográficas, geoquímicas y fisicoquímicas de las rocas del sector, así como las condiciones adecuadas de procesamiento que permitan el desarrollo de procesos industriales y tecnologías enfocadas en la transformación de la piedra caliza en productos con alto valor agregado. Este trabajo propone una metodología de selección de minerales calcáreos aptos para producción de enmiendas, libres de metales tóxicos, que requieran pocas etapas de beneficio, teniendo en cuenta su composición elemental, contenido de macronutrientes, micronutrientes, elementos traza y minerales tóxicos. La metodología propuesta se aplica en la selección de

calcitas y dolomitas del complejo Aleluya, ubicado en los municipios de Palermo y Santa María, a partir del muestreo de 20 minerales que fueron analizados mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), petrografía y espectroscopía Raman. Los análisis realizados permitieron identificar 7 calcitas y 13 dolomitas, de las cuales 12 fueron descartadas para aplicación en suelos, ya que exceden el límite de concentración de aluminio, hierro y silicio, por lo cual se redujo el número de muestras idóneas para la obtención de mejoradores de suelos caracterizados por un alto contenido de carbonato de calcio, libre de compuestos tóxicos y bajo contenido de impurezas.

**Palabras Clave:** Enmiendas, calcitas, dolomitas, geoquímica

## Evaluación comparativa de dos métodos de bajo costo para la estimación del área superficial externa de partículas gruesas

J.J. Beltrán M.<sup>1</sup>, Maya G. Wagner<sup>1</sup>, Ana María López Villamizar<sup>1</sup>, N.E.S. Serrato<sup>1</sup>, Rodrigo Jimenez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia – Bogotá, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Bogotá, DC 111321, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [rjimenezp@unal.edu.co](mailto:rjimenezp@unal.edu.co)

### Resumen

El área superficial externa es un parámetro importante de caracterización y diseño en tecnología de partículas. Dado que el área superficial externa y la esfericidad ejercen un control mayor sobre la pérdida de presión en lechos fijos, el método más aceptado para la determinación del área superficial externa ha sido su derivación a partir del ajuste de ecuaciones como la Ergun, y otras más modernas, a la caída de presión en lecho fijo en función del caudal, típicamente dentro del régimen laminar (controlado por viscosidad). Aquí reportamos el desarrollo y aplicación de dos metodologías simples, de bajo costo, para la estimación del área superficial externa: 1) el ajuste de un modelo geométrico elipsoidal a dos diámetros de Feret (medidos perpendicularmente) y al diámetro máximo lineal de partícula (*max cord*); y 2) la medición de la caída de presión en un lecho fijo, seguida de su ajuste a la ecuación de Ergun, y otras versiones más modernas. Estas metodologías fueron aplicadas a la caracterización de frijol común ICA-Pijao (*Phaseolus vulgaris* L.). Con el objetivo de corroborar los resultados del modelo geométrico, comparamos el volumen de partícula medido mediante

picnometría líquida ( $N = 39, 0,18 \pm 0,009$  mL), con el estimado a partir del modelo geométrico ( $0,16 \pm 0,008$  mL). El modelo geométrico también permite estimar un área superficial externa de  $1,50 \pm 0,05$  cm<sup>2</sup>. Del ajuste de los datos experimentales de caída de presión a la ecuación de Ergun se deriva un área superficial externa de  $1,25$  cm<sup>2</sup>. La proximidad de los resultados con mediciones de bajo costo es promisoria y apunta al desarrollo de versiones de alta precisión de las dos metodologías.

**Palabras Clave:** Área superficial externa, Fracción vacía, Ecuación de Ergun, Modelo Geométrico, Frijol común.

## Determinación de propiedades físicas y de transporte de mezclas presentes en la oxidación alílica de monoterpenos

Juan Camilo Herrera<sup>1</sup>, Xilena Oviedo<sup>1</sup>, Jonathan Castañeda<sup>1</sup>, Luis Alfonso Gallego<sup>1</sup>,  
Lina María González<sup>2\*</sup>, Aida Luz Villa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo Catálisis Ambiental, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería,  
Universidad de Antioquia UdeA, Calle 70 No. 52-21, Medellín, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [lina.gonzalez@udea.edu.co](mailto:lina.gonzalez@udea.edu.co)

### Resumen

El conocimiento de las propiedades de las sustancias puras y sus mezclas es un factor importante en el diseño de cualquier proceso químico. La producción de carvona y verbenona, a partir de la oxidación alílica catalítica con hidroperóxido de terc-butilo (TBHP) de limoneno y  $\alpha$ -pineno, respectivamente, requiere de la determinación de algunas propiedades físicas y termodinámicas de las mezclas presentes en las etapas de proceso. Este trabajo se centra en la determinación experimental de la densidad, temperatura de burbuja, viscosidad y tensión superficial de mezclas que contienen las principales sustancias presentes en la oxidación de carvona y verbenona a partir de limoneno y  $\alpha$ -pineno, incluido el catalizador FePcCl16/NH<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>. Se prepararon mezclas binarias con una composición de 0.125 M en acetona para los monoterpenos y los principales productos de oxidación (cetonas alílicas, alcoholes alílicos y epóxidos) y de 0.325 para el TBHP. Teniendo en cuenta la conversión del limoneno y del  $\alpha$ -pineno a compuestos conocidos luego de 24 h de reacción y con una conversión total del TBHP se prepararon mezclas de 0.0325 M limoneno, 0.0925 M carvona,

0.00425 M carveol y 0.00425 M epóxido de limoneno, en el caso de la oxidación del limoneno. Para el  $\alpha$ -pineno, la mezcla después de reacción fue de 0.025 M  $\alpha$ -pineno, 0.021 M verbenona, 0.005 M verbenol y 0.012 M epóxido de  $\alpha$ -pineno. Las propiedades determinadas en presencia del catalizador se realizaron con la presencia de 0.25% mol de FePcCl16/NH<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>. A condiciones ambientales fue posible determinar la densidad, viscosidad, punto de burbuja y tensión superficial de las mezclas de los compuestos involucrados en la síntesis de la carvona y verbenona. Los valores obtenidos muestran que prevalecen las propiedades del solvente (acetona). Además, se evidenció que, en cuanto a las propiedades como densidad, tensión superficial y temperatura de burbuja de las mezclas, los compuestos con los mismos grupos funcionales presentaron valores similares. En el caso de la tensión superficial y la temperatura de burbuja, se observó una disminución con la presencia del catalizador en la mezcla, sugiriendo un posible efecto de la interfaz sólido- líquido en la capilaridad del sistema y en la presión de vapor de la mezcla.

**Palabras Clave:** propiedades de mezcla, carvona, verbenona, monoterpenos

## Fabricación de microrreactores mediante impresión 3D y su validación con una reacción de transesterificación de aceite de girasol

Paola Agudelo<sup>1</sup>, Isabel Mejía<sup>1</sup>, Gustavo Bolaños<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Termodinámica Aplicada y Fluidos Supercríticos Escuela de Ingeniería Química, Universidad del Valle,

CL 13 100-00 Edificio E27, Cali, Colombia

\* Autor de Correspondencia: [gustavo.bolanos@correounivalle.edu.co](mailto:gustavo.bolanos@correounivalle.edu.co)

### Resumen

Los microrreactores constituyen una alternativa promisoriosa para el desarrollo de procesos de manufactura química, pero en la actualidad su fabricación requiere costosas tecnologías de alta precisión. En este trabajo se usó una impresora 3D comercial, con un filamento de polietilén tereftalato-glicol (PETG), para fabricar cinco prototipos de microrreactores de bajo costo, y se evaluó la funcionalidad de tales prototipos en la transesterificación de aceite de girasol con metanol. Algunos de los microrreactores construidos tienen una única entrada para alimentar una emulsión reactiva de aceite de girasol en metanol, y otros tienen

dos entradas para alimentar las materias primas por separado. En cualquier caso, cada microrreactor está conformado por un microcanal de 596  $\mu\text{m}$  de diámetro y longitud especificada para obtener diferentes tiempos de residencia a diferentes tasas de flujo de reactivos.

Se validó la operabilidad de cada microrreactor mediante un experimento factorial, con el área interfacial y el tiempo de residencia como variables controladas, y el rendimiento de la reacción como variable de respuesta. Los mayores rendimientos se obtuvieron con un reactor rectangular de una entrada y un único canal en forma de serpentín. Dichos rendimientos fueron 61% y 98% en 2.6 y 9.3 minutos de tiempo de residencia, respectivamente, lo cual se compara favorablemente con los 60 minutos que toma obtener rendimientos similares en un reactor por lotes. Estos resultados se atribuyen a la alta área interfacial que se obtiene al utilizar como alimento la microemulsión metanol/aceite. El costo de este microrreactor es inferior a 50000 pesos colombianos, cifra que está muy por debajo del costo de otras tecnologías que se usan en la fabricación de estos equipos.

## Reducción de la pérdida de calidad postcosecha del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Mediante recubrimientos a base de quitosano y aceite esencial de ruda

Yeimmy Peralta-Ruiz<sup>1,2\*</sup>, Carlos David Grande Tovar<sup>3</sup>, Angie Sinning-Mangonez<sup>2</sup>,  
Edgar A. Coronell<sup>3</sup>, Marcos F. Marino<sup>3</sup>, Clemencia Chaves-Lopez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Bioscience and Technology for Food, Agriculture, and Environment,  
University of Teramo, 64100 Teramo, Italy

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Agroindustrial,  
Universidad del Atlántico, Puerto Colombia 081008, Colombia

<sup>3</sup>Grupo de Investigación de Fotoquímica y Fotobiología,  
Universidad del Atlántico, Puerto Colombia 081008, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [yyperalta@unite.it](mailto:yyperalta@unite.it)

### Resumen

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las muchas hortalizas imprescindibles en el mundo por su contenido nutricional y su atractivo sabor. Sin embargo, su corta vida útil y la gran cantidad de pérdidas postcosecha afectan su comercialización. En este estudio, se evaluó la eficacia de recubrimientos a partir de quitosano (Q) y aceite esencial de *Ruta graveolens* (REO) como tratamiento postcosecha en Tomate var. "chonto" almacenado a baja temperatura durante 12 días. Las emulsiones Q-REO fueron preparadas mediante disolución en medio ácido del quitosano, coformulantes y aceite hasta alcanzar una concentración de 5, 10 y 15  $\mu\text{L}$  / mL de REO respectivamente. Posteriormente, los tomates fueron recubiertos con las emulsiones mediante la técnica "dip coating" y se analizaron sus características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales durante 12 días.

Las emulsiones preparadas presentaron estabilidad, viscosidades bajas (entre 0,126 y 0,029 Pa s), tamaños de partícula pequeños (entre 1,29 y 1,56  $\mu\text{m}$ ) y densidades bajas. Los tomates tratados con CHI-REO presentaron un menor índice de madurez, una menor pérdida de peso, y un menor índice de decaimiento, indicando un efecto conservante de los recubrimientos sobre la calidad del tomate. Adicionalmente, los tomates recubiertos presentaron una reducción significativa de mesófilos (5 Log UFC / g con respecto al control) mediante el uso de 15  $\mu\text{L}$  / mL de REO. Los recubrimientos con mayor concentración de REO inhibieron el crecimiento de mohos y levaduras en superficie sin afectar negativamente la aceptación del consumidor, como demostró el análisis sensorial. Los resultados

obtenidos muestran que los recubrimientos Q-REO son prometedores en el tratamiento postcosecha de tomate var. "Chonto".

**Palabras Clave:** Quitosano, *Ruta graveolens*, calidad postcosecha, *Solanum lycopersicum*

## Desarrollo de resinas de altos sólidos para recubrimientos automotriz

*Melissa Lara, Kelly Zuluaga, Carolina Niebles, Daniel H. Builes, Lina Higuita\**

Centro de Investigación y Desarrollo ANDERCOL S.A.S

\*Autor de Correspondencia: [lina.higuitag@andercol.com.co](mailto:lina.higuitag@andercol.com.co)

### Resumen

La industria de recubrimientos para el mercado automotriz está en la búsqueda de alternativas que permitan la disminución de compuestos orgánicos volátiles (VOC) (Diakournakos et al., 2000; Huybrechts & Dusek, 1998). Las rutas desarrolladas para reducir los VOC emitidos en pinturas pueden ser pintura en polvo, recubrimientos base agua y recubrimientos de altos sólidos (New et al., 2005). Una de las estrategias que más se utiliza es esta última dada su facilidad de implementación. Al formular recubrimientos de altos sólidos, una de las vías es hacer uso de ligantes poliméricos de altos sólidos, pero con viscosidades relativamente bajas para desarrollar el desempeño deseado. Usar resinas de alto contenido de sólidos no solo proporciona un beneficio a nivel ambiental al disminuir el contenido de VOC del recubrimientos, sino que también proporciona mayor espesor al formar la película final, traduciendo esta propiedad en mayor durabilidad del recubrimiento manteniendo protegida la estructura por mayor tiempo (Slinckx et al., 2000).

Las estrategias para la obtención de resinas de altos sólidos y viscosidades acordes al manejo se enfocan en tres direcciones:

- Restringir las interacciones intermoleculares de las cadenas poliméricas
- Modular el peso molecular del polímero
- Controlar la distribución del peso molecular

Andercol como empresa que desarrolla ligantes para el mercado automotriz y encaminado en sostenibilidad ambiental, desarrolló diferentes prototipos de resinas con alto contenido de sólidos en las que se modularon el peso molecular y las interacciones intermoleculares dando como resultados un portafolio de polímeros con diferente temperatura de transición vítrea, brillo y adherencia acorde a las necesidades del mercado automotriz.

**Palabras Clave:** Bajo VOC, automotriz, recubrimientos.

## **Evaluación efecto del ajo (*allium sativum*) y oregano (*lippia origanoides*) como sustituto parcial de la sal de nitró en productos cárnicos**

*Ginna Barragan<sup>1</sup>, Eliana Díaz<sup>1</sup>, Hugo Gomajoa<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de investigación GILDOP, Ingeniería de procesos, Universidad Mariana, Calle 18 No. 34- 104, Pasto, Nariño

\*Autor de Correspondencia: [gbarragan@umariana.edu.co](mailto:gbarragan@umariana.edu.co)

### **Resumen**

Se ha evaluado el efecto de 2 extractos vegetales como son; Ajo blanco americano y orégano para la preservación de la costilla de cerdo marinada ya que poseen propiedades de conservación y potenciador de sabor que ayudan a detener la descomposición. Para la experimentación se planteó un screening de 12 tratamientos manejando una concentración del 3.3% del extracto respecto a los 300 g de la muestra, en los que se evaluó el efecto individual y todas sus combinaciones posibles de cada extracto vegetal preparado en agua y en etanol y así mantener las condiciones y características del producto tomando como variables de respuesta la determinación de color mediante espectrometría de absorción. Tras el barrido se determinó que los tratamientos en tiempo de conservación según el color en primer lugar fueron los realizados con extracto en combinación de ajo y orégano en medio etanol, luego combinación extracto ajo y orégano en medio acuoso, combinación entre sal nitró, extracto de ajo y orégano fueron los que más favoreció la conservación y el sabor de la costilla de cerdo ahumada. La caracterización se realizó en la recepción de la costilla de cerdo y posterior al tratamiento. El enfoque de este proyecto fue usar los extractos vegetales para detener la actividad microbiana en el producto cárnico, se

determinó los extractos de manera que su reacción sea más eficiente que la sal de nitró. Se tomó como testigo costilla de cerdo en su condición natural.

**Palabras Clave:** Extractos vegetales, inhibición microbiana, Cárnicos, Evaluación, análisis microbiológico

## Efecto del secado por aspersión en la obtención de café soluble de alta calidad de origen nariño

*Julián Acosta<sup>1</sup>, David Coral<sup>\*</sup>, David Madroño<sup>1</sup>, Andrés Hurtado<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación de Ingeniería de Procesos GIIDOP, Universidad Mariana, Calle 18 #No. 34 - 104, Pasto, Nariño.

<sup>2</sup> Docente Investigador Grupo TEA, Universidad de Nariño

<sup>\*</sup>Autor de Correspondencia: [davidcoral@umariana.edu.co](mailto:davidcoral@umariana.edu.co)

### Resumen

Nariño es reconocido por ser un gran productor de cafés especiales (98% de su producción) (Gómez & Guzmán, 2012), aunque el café es un renglón importante en la economía regional, persiste el déficit en la generación de valor agregado. En los últimos años se ha identificado como una tendencia global la “premiumización”, lo cual ha hecho posible que el café soluble conquiste participaciones de mercados que no fueron posibles en el pasado. Bajo este contexto, el proyecto pretende contribuir a mediano o largo plazo a incrementar el consumo de café soluble gourmet y a fomentar la producción de cafés especiales como materia prima para la generación de productos con mayor valor.

En esta investigación se determina la incidencia del secado por aspersión en la calidad del café soluble obtenido a partir de café especial de origen Nariño. Para ello se realizó una tostión oscura (Grado Italian), molienda fina en molino de discos con ajuste manual, extracción a presión con maquina expreso a 88°C y 9 Bar, concentración al vacío por medio de rotaevaporación a una temperatura de 55°C por una hora y secado por aspersión en donde se desarrolló un diseño experimental de superficie de respuesta, con 17 experimentos y 3 puntos centrales por bloque, en el que se consideran diferentes factores (temperatura de secado, flujo de muestra y velocidad de flujo aire), evaluando, perfil de tasa (SCA, NTC 4159), solubilidad (NTC 4159) y volátiles (HS-SPME-GC-MS), los cuales fueron analizados mediante el programa estadístico Statgraphics Centurión XV.II.

En el proceso de extracción se obtuvo en promedio 74 gramos de extracto por 18 gramos de café tostado y molido. Para el proceso de secado por aspersión se concentró el extracto, aumentando la cantidad de sólidos solubles de 6,5% a un 35%. Estadísticamente los valores óptimos para un mayor rendimiento en el spray dryer son a una temperatura de 300°C, un caudal de 5 mL/min y velocidad de aire de 7,54 m/s con un rendimiento de 34,6%. A través del análisis sensorial se determinó que a una temperatura de 300°C, con una velocidad de aire de 11,31m/s y un caudal de 12,5 mL/min, el café presenta mejor perfil de taza con una puntuación de 83, el análisis de compuestos volátiles mostro una mayor presencia de 2- Furanmetano con una cantidad relativa de 8,68-13,62%, seguido del ácido acético 8,41- 13,98% y el 5-metil-2-furanmetanol 6,64-9,85%. La tuestión, molienda, concentración y los factores de secado, son los parámetros críticos a tener en cuenta. Se determinó que a mayor temperatura de secado, menor debe ser el flujo de la muestra y este debe ser proporcional a la velocidad de aire, se observó que cualquier variación de estos parámetros afecta la calidad del producto final. Se concluye que es posible aplicar la técnica de secado por aspersión para la obtención de café con características de alta calidad de origen Nariño.

**Palabras Clave:** Café soluble, prueba de tasa, secado por aspersión, volátiles.

## Model of a PVT-CG-MS reactor for the cocoa roasting process

*M. Rojas,<sup>1</sup> D. Granados,<sup>3</sup> J. Osorio,<sup>2</sup> H.J. Herees,<sup>2</sup> and F. Chejne.<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup> Process and Energy Department., Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia; <sup>1</sup> Engineering and Technology Institute Groningen (ENTEG), Department of Chemical Engineering, University of Groningen, Nijenborgh 4, 9747 AG Groningen, The Netherlands; <sup>3</sup>Department of engineering, Universidad Católica de Oriente, Rionegro, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: fchejne@unal.edu.co

### Resumen

Cocoa roasting is a thermochemical process considered the most important operation in cocoa processing as it is essential to obtain the organoleptic characteristics that are directly related to the chemical composition of the product given by the conditions of the thermal process applied. The main chemical reactions are Maillard reaction, degradation of Strecker and oxidation of lipids generating numerous aromatic components. Mathematical roasting models have

been based on the law of conservation of mass and energy. However, the effect of the heating rate on aromatic components that allow the optimization of the process parameters and the development of new roasting technologies is still unknown. The objective was to model the process of roasting on small cocoa particles using the PTV-GS-MS and understanding the thermodynamic phenomena and their effect on the volatilization of aromatic components of interest in the cocoa industry.

Experiments were performed with cocoa powder in PTV-GC-MS, from 40 °C to 350 °C, using heating rates of 2, 4, and 8 °C sec<sup>-1</sup>. Mass and energy balance coupled to a kinetic model consider three-step, drying and two volatilizations. The volatiles were identified by GC-MS. The mathematical model was solved in Fortran and Matlab 2019b.

The PTV analysis showed that higher temperatures cause greater volatilization, being even more evident at lower heating rates V1 with 24.7% and V2 with 19.3% compared with 15.2% mass loss for V3. A greater number of volatile components generated in the volatilized gas in V1 at the same temperature were also identified, that is, time plays an important role in chemical reactions. Among the volatiles are pyrazines, aldehydes, ketones, alcohols, and esters, which are intermediate products of the Maillard reaction and Strecker degradation.

The 2D model can predict gas pressure in the particle, temperature differentials, gas, and solid fractions, gas outlet rate. The cocoa roasting process starts with the drying of the raw material, together with acetic acid and low molecular weight alcohols are volatilized to temperatures of approximately 175 °C. Although the experiments are small-scale, temperature and pressure gradient exists within the particle evidencing the effect of heating on solid-state reactions that produce a variety of aromatic volatile components and CO<sub>2</sub> explained by Strecker degradation reaction mechanism, which initially form in the solid material and when the temperature rises, they volatilize, showing an important influence of the heating rate in this process.

**Palabras Clave:**  $\mu$ -reactor, roasting modelling, formation of aromatic compounds, Maillard reaction, Strecker degradation.

## Bacteriófago artificial basado en nanoestructuras de carbono para transporte de medicamento

*Kevin D. Pérez<sup>1</sup>, Alejandra M. Arango<sup>1</sup>, Jaime Velasco-Medina<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Bionanoelectrónica, Escuela de Eléctrica y Electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cl. 13 #100-00, Cali, Valle del Cauca

\*Autor de Correspondencia: [jaimve.slaco@correounivalle.edu.co](mailto:jaimve.slaco@correounivalle.edu.co)

### Resumen

El cáncer es la segunda causa de muerte en el mundo según la OMS y, se ha convertido en una preocupación común para un gran número de organizaciones privadas y gubernamentales alrededor del mundo. Este tipo de entidades buscan posicionar esta enfermedad como un problema de salud pública y movilizar acciones para controlar y mitigar su impacto. Los tratamientos que se encuentran disponibles actualmente para contrarrestar los efectos de estas enfermedades, como la cirugía, la quimioterapia y la radioterapia, han demostrado una eficacia considerable. Sin embargo, la mayoría de los pacientes experimentan efectos secundarios que disminuyen significativamente su calidad de vida. Cuando hablamos de quimioterapia, la muerte de células sanas es una consecuencia de la pobre especificidad y selectividad de los mecanismos de suministro de medicamentos con alta toxicidad; por esto, los pacientes sienten debilidad, pérdida de peso, de cabello, entre otros síntomas. Actualmente, los investigadores en áreas de ciencia e ingeniería, han implementado diversas técnicas y materiales que aportan a la erradicación de este problema y, es por ello que, la nanotecnología se ha mostrado como una herramienta promisoría para el diagnóstico precoz y el tratamiento oportuno del cáncer mediante el uso de nanodispositivos para transporte de medicamentos; ejemplo de estos son: nanopartículas, fullerenos, CNTs, entre otros. Apostando por la innovación como una nueva alternativa para el desarrollo tecnológico impulsado por la ingeniería y la ciencia en Colombia, hemos propuesto el diseño de un nanodispositivo para transporte de doxorubicina (DOX), basado en estructuras de carbono (fullereno y CNTs) para la detección de canales celulares (TRPV1) en células cancerosas, inspirados en la patente PCT/IB2015/051144 otorgada a la Universidad del Valle. El diseño pretende imitar la estructura de un bacteriófago T4, donde la cabeza está formada por un fullereno C720, un anillo de MoS<sub>2</sub>, el cuerpo es un CNT (20,0) y la cola son toxinas BmP01. Los diseños se han elaborado empleando el software VNL. Todas las estructuras han sido optimizadas empleando técnicas de DFT y

se ha un estudio de acoplamiento molecular entre las toxinas y el canal, dando como resultado posibles conformaciones del complejo más óptimo. También, se realizaron simulaciones de dinámica molecular que comprueban que existe una interacción atractiva entre el canal TRPV1 y el CNT lo que permitiría el transporte del medicamento hacia el interior de la célula.

**Palabras Clave:** Nanodispositivos, Dinámica molecular, CNT, DFT, TRPV1.

## Evaluación termodinámica y económica para la generación eléctrica por medio de la incineración de residuos sólidos urbanos en Colombia

*Nilson Castillo<sup>1</sup>, Neila Mantilla<sup>1\*</sup>, José Carlos Escobar<sup>2</sup>, Aldemar Martínez<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo Ambiental de Investigación Aplicada GAIA UDES, Maestría en Recursos Energéticos, Universidad de Santander, Calle 70 N° 55-210, Bucaramanga, Colombia.

<sup>2</sup>Excellence Group in Thermal Power and Distributed Generation-NEST, Institute of Mechanical Engineering, Federal University of Itajubá-UNIFEI, Av. BPS, 1303, Itajubá, MG, Brazil

\*Autor de Correspondencia: [ne.mantilla@mail.udes.edu.co](mailto:ne.mantilla@mail.udes.edu.co)

### Resumen

A nivel mundial la generación constante de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) se ha convertido en un desafío para la humanidad, donde la incineración de los RSU con generación de energía eléctrica ha sido un modelo adoptado por más de 40 países, pero que aún no ha sido utilizado en Colombia.

El objetivo de este estudio fue realizar una evaluación termodinámica y económica de la recuperación energética de RSU utilizando la tecnología de Incineración teniendo como caso de estudio el relleno sanitario "El Carrasco" en la ciudad de Bucaramanga. Uno de los principales problemas que presenta la tecnología del ciclo a vapor (cuando es utilizada para el aprovechamiento energético de RSU), es su baja eficiencia. Dentro del estudio se analizaron varias alternativas de incremento de eficiencia del ciclo a vapor de la central de incineración a través de la incorporación de recalentamiento, regeneración y ciclo combinado híbrido. La evaluación termodinámica se realizó con base en la Primera y Segunda ley de la termodinámica, para el cálculo de diferentes indicadores de desempeño, entre ellos la electricidad neta con potencial de venta a la red, y la exergía destruida de cada escenario.

Se analizaron un total de diez escenarios, tres con regeneración que varían de uno a tres regeneradores (C1, C2, C3), un escenario con recalentamiento (C4), tres con recalentamiento y regeneración simultáneos (C5, C6, C7), dos con ciclos combinados híbridos (conexión térmica de una turbina de gas CCH1, CCH2) y el escenario de referencia (C0). Para el cálculo de las propiedades en cada estado de los diferentes escenarios, se utilizó el software CoolProp™.

De la evaluación energética realizada, el ciclo simple Rankine, con mejor eficiencia es el C7, que considera el recalentamiento y tres regeneradores en simultáneo, con relación al escenario base (C0), el aumento es de 1.5 *GWh/año* (1.7 %), utilizando 30 toneladas menos de RSU y un aumento de eficiencia térmica de 1.09 %. El escenario de recalentamiento sin regeneración C4, entrega a red 88.5 *GWh/año* superando al C3 en 0.2 *GWh/año*, es decir, solo una etapa de recalentamiento es más eficiente que incorporar tres regeneradores. La integración de una planta WtE con un ciclo combinado híbrido de gas natural, produce un aumento sustancial en la eficiencia energética global, alrededor de 37 a 39%, la generación de caudal másico del ciclo de vapor aumenta en 48% para el CCH1 y 66% para el CCH2, proporcionando un aumento de potencia eléctrica de turbina de vapor de 88% y un 100.1% respectivamente.

La evaluación económica permitió definir el escenario con la mayor viabilidad económica. donde se puede concluir que todos los escenarios bajo las condiciones planteadas son viables económicamente. Entre los ciclos Rankine simples, el escenario con un regenerador (C1) presenta la mejor rentabilidad, con un periodo de recuperación de 19 años, un VAN de 6.878.103 USD y TIR de 11%. De los ciclos combinados híbridos, el de mejor rentabilidad es el (CCH2), el cual retorna la inversión en el año 17, un VAN de 31.754.531 USD y TIR de 13.7%.

**Palabras Clave:** Tecnología Waste to energy-WtE, residuos sólidos urbanos, incineración, ciclo rankine, ciclo combinado, eficiencia

## CAPITULO VIII: Tecnología en ingeniería química y simulación

---

*Líder de línea temática:*

**Ángel Darío González Delgado**

Universidad de Cartagena

La ingeniería de sistemas de procesos proporciona a los ingenieros químicos herramientas computacionales avanzadas para el modelado, simulación y análisis de procesos industriales. Nuevos panoramas se han identificado con los trabajos compilados en este capítulo, particularmente en el desarrollo de investigaciones que abarcan desde la experimentación hasta la simulación de procesos escalados y sus análisis de sostenibilidad. Los softwares más utilizados correspondieron a Aspen Plus, dinámica computacional de fluidos CFD, algoritmo de reducción de desechos (WAR) y MATLAB. Estas herramientas computacionales son una fuente valiosa de información para evaluar aspectos técnicos y económicos de tecnologías en ingeniería química. Procesos emergentes como la síntesis de nanomateriales a escala piloto e industrial y la conversión de biomásas en productos de alto valor fueron estudiados bajo técnicas de ingeniería de procesos asistida por computador.

## Regconsolver: software para la solución de modelos no lineales en excel

*Luis Diaz-Montes<sup>1\*</sup>, Rolando Barrera-Zapata<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo CERES Agroindustria e Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia UdeA, Calle 70 No. 52- 21, Medellín Colombia

\*Autor de correspondencia: [luisa.diaz@udea.edu.co](mailto:luisa.diaz@udea.edu.co).

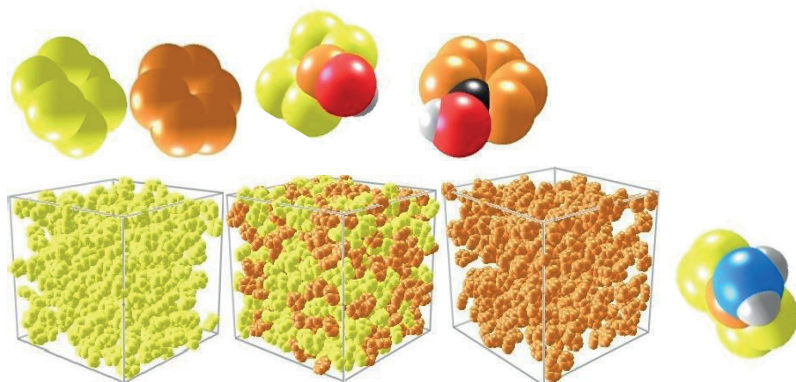
### Resumen

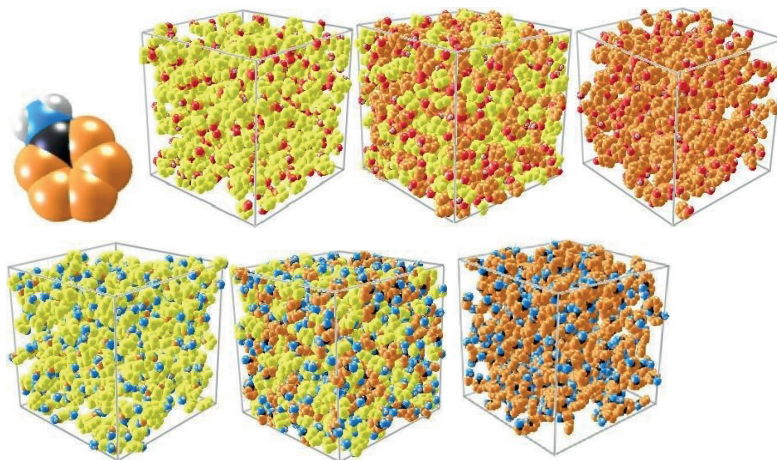
La solución de múltiples modelos en ingeniería requiere la solución de sistema de ecuaciones no lineales. RegConSolver es un complemento (Add-in) que permite solucionar este tipo de problemas de manera sencilla y eficiente bajo el ambiente amigable de Microsoft Excel ®. Esto eso concluye al comparar RegConSolver en la solución de modelos específicos con otras estrategias o herramientas que pueden utilizarse bajo el mismo ambiente y que incluyen otros complementos y métodos numéricos implementados de diferentes maneras en la hoja de cálculo. Por tal razón, el complemento resulta útil para su uso en la academia, grupos de investigación y empresas, quienes generalmente están familiarizadas con el manejo y tratamiento de datos en dicha plataforma.

**Palabras clave:** Sistema ecuaciones, modelos no lineales, Excel



Teniendo en cuenta que el equilibrio de fases hace parte de los temas comúnmente estudiados en ingeniería química, en el presente trabajo se aborda el problema de la azeotropía. La azeotropía es un fenómeno termodinámico de gran interés, que se ha estudiado desde 1802 empleando aproximaciones teóricas y experimentales [2, 3]. En condiciones azeotrópicas, las fases coexistentes de mezclas no reaccionantes poseen la misma composición molar, lo cual limita la separación de los componentes usando técnicas convencionales. El entendimiento de la naturaleza de este fenómeno físico permite desarrollar estrategias de separación y su posterior implementación en planta. En este trabajo se usan métodos de simulación molecular para estudiar el comportamiento termodinámico en el equilibrio líquido-vapor de tres mezclas binarias (véase Figura 2) constituidas por un componente de carácter cíclico alifático y un componente de carácter aromático derivado del primero por deshidrogenación: ciclohexano+benceno (mezcla 1), ciclohexanol+fenol (mezcla 2) y ciclohexilamina+anilina (mezcla 3). Los datos experimentales de los equilibrios líquido-vapor muestran que las mezclas 1 y 2 presentan azeótropos de máxima y mínima presión de vapor, respectivamente, mientras la mezcla 3 no presenta azeótropo. Los resultados de simulación molecular coinciden con los datos experimentales de los equilibrios líquido-vapor y permiten explicar el fenómeno de la azeotropía desde una perspectiva molecular.





**Figura 2.** Representación de las tres mezclas estudiadas en este trabajo usando métodos de simulación molecular: ciclohexano+benceno (fila superior), ciclohexanol+fenol (fila intermedia) y ciclohexilamina+anilina (fila inferior).

**Palabras clave:** Bibliometría, simulación molecular, equilibrio de fases, azeotropía

## Evaluación ambiental asistida por computadora, de una planta de producción de hidromiel en el departamento de Boyacá

Martha Cuenca-Quicazán<sup>1\*</sup>, Brahian Rincón-Sánchez<sup>1</sup>, Edwin Martínez-Arcia<sup>1</sup>,  
Ángel González-Delgado<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Nanomateriales e Ingeniería de Procesos Asistida Por Computador,  
Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena,  
Av. del Consulado Calle 30 No. 48- 152, Cartagena, Bolívar

\*Autor de correspondencia: [mcuencaq@unicartagena.edu.co](mailto:mcuencaq@unicartagena.edu.co)

### Resumen

Colombia es uno de los países con mayor biodiversidad por metro cuadrado del mundo. Esta característica, y la variedad de sus pisos térmicos representan un ambiente propicio para el desarrollo de la industria apícola. A pesar de ello, la producción de miel de abejas del país no representa un papel importante frente a otros países productores como China y Argentina. El desarrollo de procesos y actividades industriales que promuevan el crecimiento sostenible de esta cadena de producción se ha vuelto muy importante en los últimos años. El hidromiel (*mead*) es el nombre dado a un tipo de vino que se produce a partir de la fermentación de miel de abejas diluida utilizando una levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). Es una de las bebidas más antiguas y es muy deseable en el Norte y Este de Europa. En Colombia, su producción se da a pequeña escala. En el presente trabajo se evaluaron los impactos ambientales que implican la producción de esta bebida, tomando como referencia la piloto planta ubicada en el Municipio de San Mateo, Boyacá - Colombia. Esta evaluación se llevó a cabo utilizando el software de simulación WARGUI, un software de código abierto que permite evaluar tanto los impactos producidos como los consumidos por el proceso, en diferentes categorías. Este software permitió realizar un diagnóstico y presentar alternativas relacionadas con el uso de combustibles y residuos, información que contribuye a mejorar la sostenibilidad del proceso. Los resultados de este estudio pueden ser la base para evaluar la factibilidad de otras plantas piloto de hidromiel que puedan ser ubicadas en diferentes Departamentos del territorio colombiano.

**Palabras clave:** Simulación, Hidromiel, Apicultura, Evaluación, Ambiente.

## Simulación de explosiones mediante CFD en espacios parcialmente confinados con presencia de obstáculos

*Nicolás Santiago Navarro Simancas<sup>1</sup>, Savio Souza Venâncio Vianna<sup>2</sup>,  
Tatiele Dalfior Ferreira<sup>2</sup>, Juliana Puello Méndez<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación GICI, Programa de Ingeniería Química, Universidad de San Buenaventura Cartagena, Dg 32 #30-966, Cartagena, Colombia

<sup>2</sup>Laboratório de Análise de Risco Industrial e Segurança Ambiental L4r1s4, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Av Albert Einstein, 500 – Cidade Universitária, Campinas, Brasil

\*Autor de correspondencia: [jpuello@usbctg.edu.co](mailto:jpuello@usbctg.edu.co)

### Resumen

Las pruebas para el estudio de explosiones requieren del montaje de sistemas a diferentes escalas, con el fin de representar de la forma más realista posible el comportamiento de factores tales como las sobrepresiones que se desarrollan durante una explosión, y de igual forma el comportamiento y trayectoria de las llamas. Siendo un tema de interés no solo para la industria sino también para el área de la construcción, estos estudios representan un esfuerzo importante desde su análisis y las pruebas experimentales en centros de investigación en seguridad de procesos. En el estudio específico de explosiones en espacios no confinados y en presencia de obstáculos, se han llevado a cabo experimentos a escala real, los cuales permiten identificar causas y consecuencias, dependiendo de las condiciones para una amplia variedad de escenarios. Para el análisis de explosiones, la Dinámica Computacional de Fluidos (CFD) se constituye en una herramienta que contribuye a mejorar la exactitud de las simulaciones de pruebas experimentales. En este trabajo se ilustra un caso de estudio para la simulación de explosiones en espacios no confinados y en presencia de obstáculos, mediante una secuencia que implica el desarrollo de geometrías seguido por análisis de porosidad, modificación del dominio computacional y finalmente la simulación de explosiones mediante un software desarrollado en el Laboratorio de Análisis de Riesgo Industrial y Seguridad Ambiental de la Universidad de Campinas. La cámara de explosión simulada tiene un volumen de 182 m<sup>3</sup>, con una proporción longitud/diámetro (L/D) de 2, y dimensiones de 9 m de largo, 4,5 m de ancho y 4,5 m de altura. Los obstáculos fueron representados mediante columnas (las cuales también se pueden considerar como tuberías en una planta industrial) de 4,5 m de altura y 0,18 m de diámetro. Mediante un software de diseño gráfico se construyeron 3 geometrías: un arreglo perpendicular de 28

columnas y dos arreglos diagonales de 24 y 12 columnas. Se obtuvieron perfiles de presión, temperatura y propagación de la llama, mediante un ajuste de la proporción estequiométrica combustible / aire. Las evaluaciones preliminares presentadas en este estudio serán usadas como referencia para la optimización del software CFD para simulación de explosiones.

**Palabras clave:** CFD, explosión de gas, seguridad de procesos, cámara de explosión.

## Evaluación ambiental asistida por computador del proceso de producción de aceite de aguacate proveniente de los Montes de María

*Tamy Herrera, Vianny Parejo, Kariana Moreno, Ángel González-Delgado\**

Grupo de Investigación Nanomateriales e Ingeniería de Procesos Asistida por Computador- NIPAC,  
Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena,  
Avenida del Consulado #Calle 30 No. 48 – 152

\*Autor de correspondencia: [agonzalezd1@unicartagena.edu.co](mailto:agonzalezd1@unicartagena.edu.co)

### Resumen

En el norte de Colombia, la producción de aguacate se estima en 35,000 ton/año y una parte significativa de dicha producción se desperdicia debido a la vulnerabilidad de la especie a los cambios climáticos y a la falta de infraestructura que causa demoras y degradación de la fruta. El contenido de aceite en el aguacate (21-30%) ha motivado la búsqueda de alternativas de valorización de residuos que puedan mejorar la sostenibilidad de la cadena de procesamiento. En este sentido, es necesario evaluar la viabilidad de la producción de aceite de aguacate a gran escala bajo criterios de sostenibilidad. En este trabajo, se realizó la simulación de la cadena lineal del aguacate a aceite utilizando el software Aspen Plus, con el fin de predecir el rendimiento de la ruta de recolección de pulpa de aguacate proveniente de los montes de María a escala industrial. Posteriormente, la evaluación ambiental del proceso asistida por computadora se llevó a cabo utilizando el algoritmo de reducción de residuos (WAR) mediante el software WARGUI. Los posibles impactos ambientales generados y producidos por cada proceso se cuantificaron bajo las categorías atmosféricas y toxicológicas. Los resultados informaron valores bajos para la producción de PEI y valores negativos para la generación de PEI en la mayoría de los casos. La fuente de energía más

contribuyó a los impactos atmosféricos dependiendo del tipo de fuente (gas, carbón, petróleo), por ejemplo, el carbón impactó en el medio ambiente ocho veces más que el gas. Estos resultados sugieren que la cadena de producción lineal para convertir el aguacate en aceite es ecológica y presenta una alternativa prometedora para la valorización de los desechos.

**Palabras clave:** aceite de aguacate, evaluación ambiental, impactos, valorización, WARGUI.

## Modelado y simulación de la producción de biodiesel en reactores de película líquido-líquido descendente: Modelo simplificado

Mario Andrés Noriega <sup>1,2\*</sup>, Paulo César Narváez Rincón<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Programa de Ingeniería Química, Universidad de La Salle, Carrera 2 # 10-70, Bogotá, Colombia.

\*Autor de correspondencia: [mnoriega@unisalle.edu.co](mailto:mnoriega@unisalle.edu.co)

### Resumen

La producción de biodiésel en reactores de película líquido-líquido descendente (RPD) permite aumentar la velocidad de transferencia de masa sin dispersión entre las fases reaccionantes, rica en aceite y en alcohol, lo que a su vez reduce el tiempo de separación y aumenta la productividad del proceso. En este trabajo, se desarrolló un modelo simplificado para predecir la producción continua de biodiésel en un RPD operado en co-corriente. Este modelo incluye la predicción de la transferencia de masa de metanol desde la fase rica en alcohol a la interfaz. El modelo matemático presentado tiene una complejidad inferior a modelos presentados previamente y describe con precisión el comportamiento del reactor. Un análisis de sensibilidad del flujo de alimento de aceite sobre la conversión y rendimiento del reactor fue desarrollado, mostrando conversión y rendimiento máximos de 98% y 96%, respectivamente, para un flujo de alimento de 20 g/min en un reactor de 3cm de diámetro y un metro de longitud a una relación metanol aceite 6:1.

**Palabras clave:** Producción de biodiésel, Reactor de película líquido-líquido, Resistencia a la transferencia de masa, Modelo matemático, Proceso continuo.

## Evaluación asistida por computador de los impactos ambientales de una biorrefinería de camarón en la Región Caribe

Kariana Moreno-Sader<sup>1</sup>, Jairo Martínez-Consuegra<sup>2\*</sup>, Ángel González-Delgado<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Nanomateriales e Ingeniería de Procesos Asistida por Computador-NIPAC, Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado #Calle 30 No. 48 – 152

<sup>2</sup>Fundación Universitaria Minuto de Dios, Cra. 53 ##74-110, Barranquilla, Atlántico

\*Autor de correspondencia: [jairo.martinezc@uniminuto.edu](mailto:jairo.martinezc@uniminuto.edu)

### Resumen

El camarón es un valioso producto de la industria alimenticia que se procesa de acuerdo con el tipo de demanda, aunque normalmente se separa del caparazón, cabeza y cola. En promedio, estas partes constituyen el 40-50% del crustáceo y son consideradas como desechos de la transformación industrial. Los residuos de camarón son potenciales fuentes de productos de valor agregado como astaxantina, quitina y quitosano, ampliamente usados en industria farmacéutica, alimenticia, tratamiento de aguas y empaques. En este trabajo, se realizó la evaluación ambiental de una biorrefinería de camarón localizada en la Región Caribe con capacidad de procesamiento de 4534 ton/año de camarón fresco, a partir del cual se produce carne de camarón, astaxantina, quitina y quitosano. La cuantificación de los impactos ambientales fue realizada mediante la metodología computacional algoritmo WAR (por sus siglas en inglés, *Waste Reduction Algorithm*). De este análisis, se obtuvo que el proceso presenta un desempeño global amigable con el medio ambiente debido a los valores negativos reportados para la generación de impactos ambientales potenciales PEI (por sus siglas en inglés, *Potential Environmental Impacts*). La salida de PEI del sistema fue significativamente baja en comparación con otros procesos complejos. Se evaluaron los PEI para todas las categorías de impacto clasificadas como toxicológicas y atmosféricas. No se observaron significativas contribuciones para las categorías toxicológicas, sin embargo, las atmosféricas mostraron un comportamiento altamente dependiente al tipo de fuente utilizada.

**Palabras claves:** evaluación, ambiente, camarón, biorrefinería

## Environmental sustainability assessment of citric acid coated magnetite nanoparticles production using a simulation process with a waste reduction algorithm

David Patiño-Ruiz<sup>1</sup>, Samir Meramo-Hurtado<sup>1</sup>, Ángel González-Delgado<sup>1,2</sup>, Lars Rehmman<sup>3</sup>,  
Edgar Quiñones-Bolaños<sup>4</sup>, Mehrab Mehrva<sup>5</sup>, and Adriana Herrera<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Nanomaterials and Computer Aided Processes Engineering Research Group, Doctorate in Engineering Program, Universidad de Cartagena, Piedra de Bolívar Campus, Street 30 #48-152 Office F201, Cartagena-Colombia.

<sup>2</sup>Nanomaterials and Computer Aided Processes Engineering Research Group, Chemical Engineering Program, Universidad de Cartagena, Piedra de Bolívar Campus, Street 30 #48-152 Office D307, Cartagena-Colombia.

<sup>3</sup>Biochemical Engineering Laboratory Department of Chemical and Biochemical Engineering, University of Western Ontario, 1151 Richmond Street TEB-459, London (ON)-Canada.

<sup>4</sup>Environmental Modeling Research Group, Civil Engineering Program, Universidad de Cartagena, Piedra de Bolívar Campus, Street 30 #48-152, Cartagena-Colombia.

<sup>5</sup>Laboratory of Wastewater Treatment Technologies, Department of Chemical Engineering, Ryerson University, 350 Victoria Street KHE-224, Toronto (ON)-Canada.

\*Corresponding author at: [aherrerab2@unicartagena.edu.co](mailto:aherrerab2@unicartagena.edu.co)

### Abstract

Magnetite nanoparticles has become a promising nanomaterial for a wide number of applications, due to the physicochemical properties highlighting the superparamagnetic behavior. Aggregation due to strong dipolar moment between magnetite nanoparticles, can be avoid by coating the surface using citric acid, which may increase the stability and applicability. Hence, the production of magnetite nanoparticles coated with citric acid at large-scale needs to be addressed, in order to supply the industrial demand. We report in this study, the use of computer-aided tools for an environmental assessment of the production process of magnetite nanoparticles coated with citric acid. Waste Reduction Algorithm and Aspen Plus<sup>®</sup> were performed to estimate and quantify the potential environmental impacts in the inlet and outlet streams, by expanding the mass and energy flows, and other parameters. Limitations and assumptions were considered with the aim to obtain more accurate estimation of potential environmental impacts contributions, in which waste energy emissions as well as the input rate of energy generation were neglected from the main potential environmental impacts balance. According to the results, potential environmental impacts consumption can be observed indicating a high environmental performance. We also found that the potential environmental impacts contribution is mostly for the energy usage rather than products streams. Toxicological and at-

atmospheric impact categories were evaluated, suggesting that a production plant must be located far from dense population of humans, animals and flora. Moreover, volatile compounds are emitted to the environment through the waste streams, since ethanol is used for purification. Selection of energy source should be addressed from an economic point of view, due to the high environmental performance. The findings from these results indicated that the production of magnetite nanoparticles coated with citric acid nanoparticles at large-scale can be considered due to the environmental performance and low safety risk.

**Keywords:** Magnetite, citric acid coating, Aspen Plus®, Waste Reduction Algorithm, environmental assessment.

## **Análisis técnico-económico de dos alternativas de producción industrial de microperlas de quitosano modificadas con nanopartículas magnéticas**

Forlin Bertel\*, Grisel Cogollo<sup>1</sup>, Ángel González-Delgado<sup>1</sup>, Samir Meramo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación de Nanomateriales e Ingeniería de Procesos asistida por Computador (NIPAC), Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Av. Del Consulado Calle 30 No. 48-152, Cartagena, Colombia.

\*Autor de correspondencia: [fbertelp@unicartagena.edu.co](mailto:fbertelp@unicartagena.edu.co)

### **Resumen**

La presencia de contaminantes como metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos y desechos sólidos en los cuerpos de agua es una problemática ambiental con alto crecimiento. El uso de bioadsorbentes a partir de quitosano como mecanismo de remediación ha demostrado una alta eficiencia de remoción de estos contaminantes a nivel de laboratorio. No obstante, se desconoce la viabilidad de escalamiento de esta tecnología, por lo cual, la presente investigación se enfoca en el análisis técnico-económico de la producción a escala industrial de microperlas de quitosano modificadas con nanopartículas de magnetita y tiourea (topología 1) y modificadas únicamente con magnetita (topología 2). En una primera etapa se realizó la simulación de ambos casos usando el *Software Aspen Plus*, posteriormente, se desarrolló el análisis técnico-económico para determinar indicadores económicos, y finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad teniendo en cuenta parámetros críticos como la eficiencia *On-Stream*, el

costo de materia prima y los costos operativos variables normalizados, analizando su efecto sobre los indicadores económicos.

Los resultados muestran que, en ambas topologías, I y II, los ingresos anuales superan los costos operativos en tan solo alrededor del 5%, lo que hace que el ROI sea de 21,7% y 23,7%, respectivamente, el periodo de retorno de la inversión (PBDP) de 3,8 y 3,6 años, respectivamente, y se determinó como VPN de 9,1 y 11,4 MM USD, para las topologías I y II, respectivamente. Estos resultados indican que la topología II presentó mejor desempeño que la I, sin embargo, el análisis de la eficiencia *On-Stream* en el punto de equilibrio mostró que la topología II debía operar con un precio de venta de las microperlas (60.000 USD/t) muy superior al de la topología I (49.000 USD/t). Finalmente, se identificó que ambas plantas presentaban elevada sensibilidad frente a cambios en la capacidad de producción, los costos de materia prima, y costos anualizados.

**Palabras clave:** Análisis técnico-económico, simulación de procesos, bioadsorbentes, quitosano.

## Evaluación exergética y de seguridad de la producción industrial de microperlas de quitosano modificadas con tiourea y nanopartículas de magnetita

*Forlin Bertelli, Grisel Cogollo<sup>1\*</sup>, Ángel González-Delgado<sup>1</sup>, Samir Meramo<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación de Nanomateriales e Ingeniería de Procesos asistida por Computador (NIPAC), Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Av. Del Consulado Calle 30 No. 48-152, Cartagena, Colombia.

\*Autor de correspondencia: [gcogolloc@unicartagena.edu.co](mailto:gcogolloc@unicartagena.edu.co)

### Resumen

En la actualidad, el aumento progresivo de hidrocarburos, tintes y otros contaminantes en cuerpos de agua genera alto interés en el desarrollo de nuevas y mejores tecnologías que ayuden a remediar esta problemática. El uso de adsorbentes a base de quitosano ha demostrado alta eficiencia en la remoción de estos contaminantes, además de ser una opción práctica, económica y respetuosa con el medio ambiente, sin embargo, se hace necesario estudiar la viabilidad de producción de dichos compuestos a escala industrial con la finalidad de permitir

la aplicación masiva de esta técnica. Por lo tanto, la presente investigación tiene como propósito evaluar la producción de microperlas de quitosano modificadas con tiourea y nanopartículas de magnetita considerando indicadores exergéticos y de seguridad de proceso, con base en la simulación de la planta en el software Aspen Plus.

Los resultados señalan que la eficiencia exergética global del proceso es considerablemente baja con un valor de 5%, denotando que el diseño propuesto tiene altas posibilidades de mejora mediante la aplicación de técnicas de optimización. Además, se evidencia que la mayor parte de la exergía destruida total se encuentra asociada a la generación de residuos en el proceso, identificando las etapas de lavado como aquellas críticas desde el punto de vista exergético. Por otra parte, desde el ámbito de seguridad, se obtuvo un puntaje de 23 para el Índice de Seguridad Inherente, el hecho de que este índice sea menor a 24 sugiere que el proceso es de bajo riesgo de seguridad inherente considerando aspectos químicos y de proceso. Sin embargo, se resalta el riesgo representativo que tiene la presencia de etanol como solvente debido a que es considerado la sustancia más peligrosa en el sistema.

**Palabras clave:** Bio-adsorbente, Análisis exergético, Índice de Seguridad Inherente, Simulación de procesos, Microperlas de quitosano.

## Estudio de modelos termoquímicos aplicados a la industria panelera

*Duvan Abril<sup>1</sup>\*, George Riaño<sup>1</sup>, Jeffrey León-Pulido<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Siipar Semillero, Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad EAN, Bogotá - Colombia

\*Autor de Correspondencia: [dabrilb05602@universidadean.edu.co](mailto:dabrilb05602@universidadean.edu.co)

### Resumen

La tradición panelera responde a la costumbre de aprovechar la tierra, el clima y el conocimiento sobre la caña de azúcar. El estudio de los costos de producción y de explotación agrícola son fundamentales para entender las oportunidades de mejora del proceso. El presente trabajo es sustentado a partir de un estudio bibliométrico partiendo del desarrollo de ecuaciones de búsqueda que permiten mapear y reconocer los diferentes procesos asociados a la transformación

de caña en panela, además de identificar la integración y aprovechamiento de los recursos energéticos de la industria panelera. La metodología describe un estudio cualitativo de las alternativas y cuantitativo de los modelos termodinámicos aplicables a los procesos de transformación de la caña de azúcar en panela. Diferentes modelos termodinámicos como NRTL, PR, SRK, UNIFAC e IDEAL fueron analizados para entender el comportamiento de la Entalpía, Entropía y Gibbs estimada por los modelos. Finalmente, son presentados los métodos que se ajustan de forma más adecuada a las diferentes combinaciones binarias de componentes presentes en la transformación de caña a panela.

**Palabras clave:** Azúcar, Simulación, Modelo Termodinámico, Producción, Proceso.

## Estudio de la difusión de agua de mar en acuíferos costeros por medio de simulaciones de dinámica molecular clásica

*Juan C. Burgos<sup>1\*</sup>, Edgar Quiñones<sup>2</sup>, Mehrab Mehrvar<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Modelado Computacional, Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Avenida el Consulado Calle 30 #48-152, Cartagena, Bolívar, Colombia

<sup>3</sup>Grupo de Modelación Ambiental, Programa de Ingeniería Civil, Universidad de Cartagena, Avenida el Consulado Calle 30 #48-152, Cartagena, Bolívar, Colombia

<sup>2</sup>Department of Chemical Engineering, Ryerson University, 350 Victoria St., Toronto, Ontario, Canada, M5B 2K3

\*Autor de Correspondencia: [jburgosb@unicartagena.edu.co](mailto:jburgosb@unicartagena.edu.co)

### Resumen

Una de las principales consecuencias del cambio climático es la elevación de los niveles de agua en los océanos, lo cual propicia la intrusión de agua salina en los acuíferos costeros. Los cambios en los patrones de precipitación y las alteraciones en las razones de recarga de depósitos de agua subterránea intensifican el desplazamiento de la interface entre agua fresca subterránea y agua de mar hacia los acuíferos más próximos a la costa. El impacto social, económico y ambiental causado por la intrusión salina en los acuíferos costeros demanda una caracterización profunda del transporte de masa al interior de los poros subterráneos. Un completo entendimiento del fenómeno de difusión de los iones cloruro y sodio en soluciones acuosas permitirá desarrollar tecnologías que impidan la contaminación de las fuentes hídricas de comunidades costeras.

El comportamiento de sistemas infiltrados por agua de mar se ha evaluado por medio de diferentes técnicas de modelamiento que caracterizan regímenes de flujo en función de variables macroscópicas. Sin embargo, el modelamiento de transporte de masa simplifica importantes características fundamentales a nivel nanoscópico y molecular que pueden entregar información valiosa acerca del fenómeno de intrusión salina. Por tal motivo, simulaciones de dinámica molecular (MD) se llevaron a cabo con el objetivo de cuantificar los coeficientes de difusión de iones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  en soluciones acuosas con concentraciones propias del océano atlántico (35% en peso). De igual manera, se construyeron modelos de soluciones de agua de mar confinadas en poros de 1.2 nm para evaluar la influencia de la composición y estructura de las superficies de las rocas sedimentarias que componen los acuíferos sobre la difusión de los iones de cloruro de sodio.

Los coeficientes de difusión calculados a partir de los desplazamientos cuadráticos medios obtenidos de las trayectorias MD mostraron que la difusión de los iones cloruros difunden más rápido que los iones sodio, lo cual se ajustó cualitativa y cuantitativamente a lo reportado en la literatura. Además, las simulaciones de dinámica molecular demostraron que la difusión de los iones cloruro y sodio dentro de los poros depende de la composición química de las paredes del poro y del plano cristalográfico expuesto a la interface roca/agua de mar. Estos resultados demuestran que fuertes interacciones electrostáticas inducidas por grupos funcionales y cargas localizadas podrían retardar la intrusión salina en acuíferos costeros.

**Palabras clave:** Intrusión de agua de mar, dinámica molecular, cambio climático.

## Análisis fisicoquímico de cátodos de baterías de litio– azufre a partir de cálculos de teoría del funcional de la densidad

Mauricio R. Cabarcas<sup>1</sup>, Perla B. Balbuena<sup>2</sup>, Juan C. Burgos<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Modelado Computacional, Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Avenida el Consulado Calle 30 #48-152, Cartagena, Bolívar, Colombia

<sup>2</sup>Chemical Engineering Department, Texas A&M University, 3122 TAMU, College Station, Texas, USA

\*Autor de Correspondencia: [jburgosb@unicartagena.edu.co](mailto:jburgosb@unicartagena.edu.co)

### Resumen

Las baterías de litio-azufre constituyen una alternativa viable de almacenamiento de energía superior en capacidad y densidad de energía a las tradicionales baterías de ion de litio. Sin embargo, la baja conductividad del azufre que conforma el cátodo, la expansión volumétrica y destrucción del cátodo producto de la formación de polisulfuros durante la descarga, y la difusión de polisulfuros a través del solvente orgánico hacia el ánodo, han impedido el desarrollo tecnológico, la implementación práctica y la comercialización de estos dispositivos. Por tal motivo, investigaciones experimentales y teóricas han concentrado sus esfuerzos en proponer materiales compuestos para el cátodo capaces de minimizar los efectos de la reducción del azufre a polisulfuros, pese a la falta de entendimiento del comportamiento fisicoquímico y la evolución de estos materiales durante los ciclos de carga/descarga.

Trabajos experimentales han sugerido el uso de nano compuestos de azufre-carbono con mesoporos cúbicos, con capas de envolturas poliméricas con el propósito de atrapar polisulfuros. Este tipo de compuestos logró alcanzar capacidades cercanas a los 1000 mAh/g, estabilizándose en los 860 mAh/g después de 100 ciclos. Sin embargo, no existe evidencia suficiente de los mecanismos de reducción de azufre en la superficie de cátodos gráficos, lo que conllevó a realizar estudios computacionales basados en la teoría del funcional de la densidad (DFT) y dinámica molecular de primeros principios (AIMD) con el objetivo de determinar la cinética de la reducción de azufre y la retención de polisulfuros en nano poros compuestos de azufre y carbono.

Los resultados demostraron que la fuerza de interacción entre el azufre y el grafeno se ve afectada por el tamaño de poro, la longitud de las cadenas de

polisulfuro, y la presencia de defectos estructurales en la matriz grafitica. Las interacciones más fuertes se encontraron para polisulfuros de cadena larga (S82- y S62-) y poros más pequeños, en el orden de 1nm. La presencia de vacancias y di-vacancias crea enlaces insaturados de carbono o ángulos carbono inestables que afectan la interacción con el azufre. Simulaciones de dinámica molecular *ab initio* demostraron que la cinética y los mecanismos de reducción se ven afectados por el tamaño de poro y la presencia de defectos debido a interacciones específicas causadas por acumulaciones de litio en determinadas zonas del cátodo. Un buen entendimiento de relación entre estructura y composición de los materiales del cátodo y la reactividad y el desempeño electroquímico permitirá optimizar y diseñar materiales que permitan desarrollar baterías de Li-S mecánicamente estables y duraderas en ciclos de carga/descarga.

**Palabras clave:** Baterías Litio-Azufre, Almacenamiento de energía, DFT, Dinámica molecular

## Análisis de la estructura electrónica de catalizadores $AU_8$ protegidos por ligandos $PH_3$ utilizando la teoría del funcional de la densidad

Juan C. Burgos<sup>1\*</sup>, Sol M. Mejía<sup>2</sup>, Gregory F. Metha<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Modelado Computacional, Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Avenida el Consulado Calle 30 #48-152, Cartagena, Bolívar, Colombia

<sup>2</sup>Grupo de Investigación Fitoquímica Universidad Javeriana, Departamento de Química, Pontificia Universidad Javeriana, Carrera 7 #40-62, Bogotá D.C, Colombia

<sup>3</sup>Department of Chemistry, University of Adelaide, Adelaide, South Australia 5005, Australia

\*Autor de Correspondencia: jburgosb@unicartagena.edu.co

### Resumen

Estudios recientes han demostrado que las nanopartículas de oro de tamaños inferiores a 1.0 nm presentan una destacada actividad catalítica a bajas temperaturas, como en el caso de la oxidación de CO. Como resultado de procesos específicos de síntesis en fase líquida, este tipo de partículas de oro suelen producirse con cargas netas positivas (2+) y decorados con ligandos que afectan sus propiedades catalíticas. Estudios experimentales han evidenciado que los cúmulos (clúster) de oro en el orden de 10 átomos se estabilizan en geometrías planas, manteniendo una alta actividad catalítica mientras no se aglomeran en

partículas de mayor tamaño. Sin embargo, los estudios experimentales presentan limitaciones puesto que no logran una descripción detallada de la estructura electrónica de los cúmulos de oro de menos de 10 átomos, ni permiten describir el efecto de los ligandos, la carga neta y la geometría del cúmulo de oro sobre la actividad catalítica. En este estudio, se emplearon cálculos de la teoría del funcional de la densidad (DFT) para analizar la estabilidad estructural, la distribución de cargas y la densidad de estados electrónicos en clústeres de oro en presencia de ligandos fosfina. Para estos cálculos, se eligió el funcional de intercambio-correlación M06, y la base Stuttgart/Dresden (SDD) que incluye funciones base D95 para el cálculo de estados electrónicos de átomos de fósforo e hidrógeno y pseudopotenciales quasi-relativistas Wood-Boring (MWB) para la representación de electrones internos de átomos de oro. Clústeres Au<sub>8</sub> optimizados se enlazaron a 4 y 8 ligandos fosfina (PH<sub>3</sub>) con el propósito de evaluar el efecto de la concentración y sitios de enlace de los ligandos sobre la geometría y estructura electrónica de los clústeres de oro.

Los cálculos DFT demostraron que la carga positiva neta generada de la síntesis líquida es el resultado de la oxidación de los átomos de oro, mientras que los ligandos mantienen una carga neutra. Como era de esperarse, los complejos cargados presentaron una mayor afinidad electrónica y potencial de ionización que los complejos neutros. Adicionalmente, se demostró que el incremento en concentración de ligandos en clústeres protegidos ionizados ocupa los orbitales moleculares desocupados de más baja energía (LUMO) y reduce la afinidad electrónica. A concentraciones bajas de ligandos, configuraciones específicas exponen el LUMO sobre átomos de oro externos, lo que supone una mayor actividad catalítica en comparación a otras configuraciones. Estos resultados sugieren que la geometría y estructura electrónica de clústeres de oro pueden ajustarse por medio de métodos de síntesis y decorado con ligandos a concentraciones específicas para obtener un comportamiento catalítico mejorado del clúster en reacciones de oxidación a bajas temperaturas.

**Palabras clave:** Catálisis, oro, química computacional, estructura electrónica.

## Simulación de la separación de *D*-Limoneno mediante destilación fraccionada de aceites cítricos

Jaime-Andrés Becerra<sup>1</sup>, Luis Alfonso-Gallego<sup>1</sup>, Aída-Luz Villa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo Catálisis Ambiental, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia UdeA, Calle 70 No. 52-21, Medellín, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [aida.villa@udea.edu.co](mailto:aida.villa@udea.edu.co)

### Resumen

Este trabajo presenta los resultados preliminares del estudio de la extracción soxhlet con solventes orgánicos y sin solvente asistida con microondas del aceite de naranja a partir de residuos agroindustriales. Adicionalmente, se incluye la simulación del proceso de purificación de *d*-limoneno, principal componente de diferentes aceites cítricos (naranja, mandarina, limón y pomelos) mediante destilación fraccionada en continuo y por lotes. El *d*-limoneno es uno de los monoterpenos cíclicos más comunes que ha adquirido notable importancia a nivel industrial debido a sus aplicaciones como disolvente biodegradable, surfactante, precursor de compuestos de química fina para las industrias de alimentos, perfumes y farmacéutica. El proceso de extracción del aceite de naranja asistido por microondas resultó más eficiente (~96% *d*-limoneno) que la extracción soxhlet con solventes orgánicos. La evaluación de la separación técnica de *d*-limoneno, llevada a cabo mediante simulación computacional de la destilación fraccionada al vacío en continuo y por lotes de diferentes muestras de aceites cítricos (reportes en literatura, muestras comerciales analizadas por GC-MS y extraído vía microondas), se desarrolló utilizando el programa computacional Aspen Plus®, combinando los modelos termodinámicos UNIFAC, UNIF- DMD y NRTL-RK. El procesamiento en continuo de  $348 \pm 5 \text{ kg h}^{-1}$  de aceites cítricos permite obtener *d*-limoneno con una pureza de  $97 \pm 4\%$  y rendimientos de la separación de  $99 \pm 1\%$  ( $373 \pm 0.5 \text{ K}$ ,  $10.13 \text{ kPa}$ ,  $64 \pm 24$  etapas ideales), donde los aceites de naranja y mandarina presentaron una mayor favorabilidad para la purificación de *d*-limoneno. El análisis de simulación por lotes para ~360 kg de aceite de naranja permite recuperar ~331.3 kg de *d*-limoneno después de 36 minutos al 99% de pureza en el rehervidor ( $10.21 \text{ kPa}$ , 49 etapas ideales y relación de reflujo  $R = 3.837$ ).

**Palabras clave:** Aceites cítricos, Extracción, Destilación, *d*-Limoneno, Simulación.

## Producción de productos de valor agregado a partir del tallo de corte de café: Evaluación técnico-económica y ambiental

*Esteban Restrepo<sup>1\*</sup>, Franz López<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación, Departamento de Ciencias Naturales e Ingeniería,  
Universidad Jorge Tadeo Lozano, Carrera 4 # 22-61

\*Autor de Correspondencia: [esteban.restrepol@utadeo.edu.co](mailto:esteban.restrepol@utadeo.edu.co)

### Resumen

En este trabajo se propone una alternativa que busca ayudar a mitigar la dependencia de los combustibles fósiles que causan los llamados gases efecto invernadero (GEI) que día a día incrementan los efectos del calentamiento global. Considerando que los residuos lignocelulósicos, son una fuente potencial de productos de alto valor agregado en el mercado. En el presente trabajo, se utiliza la biomasa del proceso productivo del café, el tallo de corte de café (CCS) para la obtención de: i) etanol (escenario 1), etanol y furfural (escenario 2), furfural y 5-Hidroximetilfurfural (5-HMF) (escenario 3). Se realiza un estudio del impacto técnico-económico y ambiental bajo el concepto de una biorrefinería en los diferentes escenarios, utilizando herramientas modernas de ingeniería de procesos como Aspen Plus, MatLab, Hint, Aspen Economic Analyzer y el algoritmo de reducción de desechos (WAR). Los escenarios planteados fueron simulados basados en resultados y cinéticas experimentales reportadas en literatura en cada etapa del proceso usando el software comercial Aspen Plus con el fin de obtener los balances de materia y energía. Los costos operativos fueron calculados haciendo uso del software Aspen Economic Analyzer, obteniendo que el precio de producción del 5-HMF en el escenario 3 resulta ser competitivo comparado con el precio de venta comercial. Así mismo, se logra establecer los rendimientos de los productos en cada escenario así: 163,11 Kgetanol/Ton CCS (Escenario 1), 91,08 Kgfurfural/Ton CCS y 50,23 Kgetanol/Ton CCS (Escenario 2), 50,71 Kgfurfural/Ton CCS y 110,82 Kg5-HMF/Ton CCS. Finalmente, se establece el impacto ambiental usando el software WAR analizando el aspecto medio ambiental dando como resultado mayor impacto en el escenario 3, luego 2 y por último el 1.

Una técnica común es denominada zoca, en la cual el corte del tallo se hace a 30 cm sobre el nivel del suelo, dando como resultado que la densidad del tallo sea mayor y permite generar un ciclo más de producción (Cenicafe, 2016). Sin em-

bargo, esta técnica es la que genera un volumen mayor de residuos de hasta 37 mil hectáreas en la zona cafetera de un total de 65 mil hectáreas en el país, que hasta el momento no se aprovechan (Federación nacional de cafeteros, 2017). Se ha estimado que por cada hectárea se obtienen 2 toneladas de madera para podas semestrales que usualmente son utilizadas como combustible (Rodríguez, 2004) dando un total de 74000 ton/año (equivalente a 8,45 Ton/h). Estos residuos pueden ser aprovechados ya que la demanda de obtener productos químicos e intermediarios haciendo uso de las moléculas plataforma obtenidas a partir de biomasa como el etanol, furfural y el HMF para la síntesis de otras moléculas de interés y suplir el mercado haciendo uso de química sostenible, es cada vez mayor. En este sentido, el objetivo de este trabajo es determinar el potencial del CCS como materia prima para la producción de compuestos plataforma en los diferentes escenarios; teniendo en cuenta los aspectos técnicos, económicos y ambientales bajo el concepto de biorrefinería.

**Palabras clave:** Corte de tallo de café, Etanol, Furfural, 5-hidroximetilfurfural, biorrefinería.

## Evaluación ambiental para el proceso de producción de nanopartículas de magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) a escala industrial vía química verde

Steffy Arteaga <sup>1\*</sup>, Samir Meramo <sup>1</sup>, Ángel González-Delgado<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Nanomateriales e Ingeniería de Procesos Asistida por Computador, Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Av. Del Consulado, Calle 30 No.48B-152.

\*Autor de Correspondencia: [sarteagad@unicartagena.edu.co](mailto:sarteagad@unicartagena.edu.co)

### Resumen

Las nanopartículas de magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) han abarcado extensas investigaciones que sugieren su eficiencia en la remoción de metales pesados, productos farmacéuticos y demás contaminantes de efluentes de agua. Otros estudios indican, además, sus múltiples aplicaciones en el campo de la medicina para el tratamiento de enfermedades y en la ingeniería. Sin embargo, a pesar de la larga producción bibliográfica en torno a la síntesis y aplicación de estas nanopartículas no se tiene información que indique el desempeño industrial del proceso. Una previa revisión en la literatura permitió determinar que la Ingeniería de Procesos

Asistida por Computador (CAPE- por sus siglas en inglés) es una herramienta altamente empleada para el modelado, simulación, optimización y evaluación de procesos. Por tanto, se realizó el análisis ambiental para el proceso de producción de nanopartículas de magnetita a escala industrial vía química verde usando esta herramienta y siguiendo el Algoritmo de Reducción de Residuos WAR con el objetivo de determinar la viabilidad ambiental del proceso.

De los resultados obtenidos se encontró que los impactos de salida del proceso eran del orden de 27 PEI/kg producto, mientras que los impactos generados eran negativos (-5 PEI/ kg producto) lo que indica que el proceso no genera ningún tipo de impacto que atente contra el medio ambiente, sino que por el contrario los consume. Desde este punto de vista, se tuvo que el proceso tiene un buen desempeño y es amigable con el medio ambiente. Se analizó también la influencia del tipo de combustible empleado sobre los resultados y se encontró que el carbón como fuente de energía ocasiona hasta seis veces mayores impactos de salida que el uso de gas natural y petróleo.

**Palabras clave:** Nanopartículas, Algoritmo WAR, evaluación ambiental, CAPE.

## Modelamiento, simulación, análisis termodinámico y rediseño de un sistema de secado asistido por bomba de calor

Juan Carlos Gómez-Daza<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación BioNovo, Universidad del Valle

\*Autor de correspondencia: [juan.gomez.d@correounivalle.edu.co](mailto:juan.gomez.d@correounivalle.edu.co)

### Resumen

Se presenta el modelamiento, la simulación, el análisis termodinámico y aspectos del rediseño de un secador asistido por bomba de calor (SBC). Se evaluaron los parámetros: coeficiente de funcionamiento  $COP$ , velocidad específica extracción de humedad  $SMER$ , consumo específico energía  $SEC$ , eficiencia de secado  $DE$ , velocidad de extracción de humedad  $MER$  y velocidad de secado  $DR$ ; y en términos de exergía: exergía de entrada  $Exent$ , exergía perdida  $ExL$  y eficiencia exergética  $\eta Ex$ . Se encontraron valores de  $SMER$  entre 0.294 y 0.929 kg/kWh. Se infirió que para obtener altos valores del  $SMER$  se debe trabajar a  $HR$  altas, lo que permite obtener valores bajos de  $SEC$ , para el  $MER$  y para el  $COP$  se obtienen mayores valores a  $HR$  altas. La  $DR$  se favorece a condiciones de baja  $HR$  y velocidad del aire alta, y para  $DE$  resultan favorables las condiciones experimentales medias. Para los parámetros de exergía (pérdida de exergía, eficiencia exergética), se encontró que, para las condiciones experimentales evaluadas, aunque a  $HR$  bajas se tiene mayor exergía de entrada (mayor potencial de trabajo), se tiene menor pérdida de exergía y se obtiene mayor eficiencia exergética a  $HR$  alta. Se encontraron valores entre 75 y 96 % para la eficiencia exergética.

Se presenta el desarrollo de un modelo matemático mediante dinámica de fluidos computacional (CFD), donde se evalúa la cámara de secado de un secador asistido por bomba de calor desde el punto de vista de la distribución de la velocidad del aire de secado, la temperatura en la cámara y la humedad del material a secar. El modelo fue desarrollado mediante la solución de diversas ecuaciones relacionadas con los fenómenos de transporte, estableciendo el procedimiento e instaurándolo en el software STAR-CCM+<sup>®</sup>, validando la simulación planteada con una investigación previa con el software COMSOL<sup>®</sup> Multiphysics, y posteriormente se evalúan los resultados con el fin de definir la necesidad de un rediseño en la cámara de secado. Los perfiles resultantes de la velocidad del aire y la tem-

peratura muestran que, de hecho, existe la posibilidad del rediseño de la cámara para mejorar la distribución del aire y la temperatura, ya que sólo tres de las seis bandejas en la cámara reciben la calidad del aire prevista. La solución propuesta es la implementación de difusores de aire con el fin de conseguir una distribución del flujo homogénea.

## Comparative assessment of different intensified distillation schemes for the downstream separation in the OCM process

Sergio J. Avendaño P.<sup>1</sup>; Jhoan S. Pinzón L.<sup>1</sup>, Álvaro Orjuela L.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación de Procesos Químicos y Bioquímicos, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia

\*Autor de Correspondencia: aorjuelal@unal.edu.co

### Resumen

El proceso de acoplamiento oxidativo de metano (OCM) es una ruta promisoría para la producción de etileno a nivel industrial. Sin embargo, el proceso presenta rendimientos menores al 35%, y los efluentes de reacción son mezclas complejas de diferentes compuestos (i.e. CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO, H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>). En la actualidad, el proceso de separación de los efluentes comprende la remoción del H<sub>2</sub>O mediante condensación y la remoción CO<sub>2</sub> por absorción química con aminas. Posteriormente, la separación de los gases se realiza en un tren de destilación criogénica que permite obtener etileno grado polimérico (99.9% wt). Dadas las diferencias de temperatura substanciales entre la etapa de reacción (alrededor de 700°C) y la etapa de destilación (temperaturas tan bajas como -150°C), la integración térmica del proceso para aumentar su eficiencia es un reto mayúsculo. En esta dirección, una forma de reducir la intensidad energética de dichos procesos y de reducir los costos asociados, es el acoplamiento energético de los esquemas de destilación criogénicos.

En este trabajo se realizó un estudio comparativo entre diferentes alternativas de destilación criogénica incluyendo acoplamientos térmicos para para la separación de los gases del proceso OCM. Entre las diferentes alternativas de separación se evaluaron: configuraciones directas e indirectas (6), configuraciones que utilizan equipos laterales (*side stripper* y *side rectifier*), y configuraciones que hacen uso de columnas de pared dividida (DWC y Kaibel). Todas las alternativas fueron

evaluadas incorporando el ciclo de refrigeración de propileno-etileno-metano requerido. Las simulaciones de procesos usaron modelos validados para el cálculo de propiedades fisicoquímicas y del equilibrio de fases, y se implementaron en Aspen Plus®. La optimización de los diferentes esquemas de destilación se realizó con base en el costo total anualizado (TAC) como función objetivo, mediante diferentes algoritmos codificados en Python® y directamente vinculados a Aspen.

Los resultados indican que el esquema de columna principal con *side rectifier* es la configuración más eficiente y permite un ahorro del 10% con respecto a la mejor configuración convencional. Si bien el consumo energético en la mayoría de los arreglos es similar ( $\pm 3\%$ ), estos presentan una gran diferencia en el TAC ( $\sim 25\%$ ). Esto se debe a la diferencia en el consumo de refrigerante a baja temperatura, y a la integración energética de los ciclos de refrigeración. Los esquemas de DWC y Kaibel tienen limitaciones que los hacen inadecuados para el proceso estudiado. Los resultados indican que los compresores representan cerca del 80% de los costos energéticos, y por lo tanto la integración térmica es fundamental para la implementación industrial del proceso de separación criogénica.

**Palabras clave:** OCM, destilación criogénica, integración energética, columna de pared divisoria, columna Kaibel.

## Lactato de isoamilo por destilación reactiva: simulación y optimización del proceso

Jessica Velandia<sup>1\*</sup>, Gerardo Rodríguez<sup>1</sup>, Luis Córdoba<sup>1</sup>, Iván Gil<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Procesos Químicos y Bioquímicos, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [jjvelandiab@unal.edu.co](mailto:jjvelandiab@unal.edu.co)

### Resumen

El lactato de isoamilo es una molécula potencial como solvente verde no tóxico y amigable con el medio ambiente. Este puede reemplazar los diversos solventes derivados de la petroquímica en aplicaciones industriales, de alimentos, revestimientos e industria médica<sup>1</sup>. Los ésteres de lactato se producen mediante la esterificación directa del ácido láctico con los alcoholes en un reactor seguido de la separación en varias unidades de destilación<sup>2</sup>, para mejorar la conversión

de equilibrio de la reacción uno de los reactivos debe usarse en exceso o uno de los productos debe eliminarse continuamente de la mezcla de reacción. La destilación reactiva ofrece ventaja sobre tales tipos de reacciones en fase líquida con equilibrio limitado. En el proceso, la reacción química y la separación por destilación se realizan simultáneamente.

El estudio de la producción de los ésteres de lactato mediante destilación reactiva se limita a principalmente a lactatos de alcoholes de cadena corta (C1-C3) y algunos reportes para lactato de n-butilo. Sin embargo, el estudio de la destilación reactiva como alternativa de proceso para el lactato de isoamilo no está reportada en la literatura abierta. Kumar y sus colaboradores<sup>3</sup> y Mo y sus colaboradores<sup>4</sup> estudiaron la separación y purificación de ácido láctico de caldo de fermentación por destilación reactiva con metanol. Su y sus colaboradores<sup>5</sup> realizaron el estudio de diseño de procesos para la recuperación continua de ácido láctico del caldo de fermentación por destilación reactiva con alcoholes de C1 a C4. Kumar y Mahajani<sup>6</sup> estudiaron la esterificación de ácido láctico y butanol por destilación reactiva. Los reportes anteriores sirven como base para el estudio de la producción de lactato de isoamilo por destilación reactiva, método estratégico para su implementación a nivel industrial que aprovecha la intensificación de procesos para obtener costos de producción competitivos.

En este trabajo se desarrolla y optimiza el diseño en estado estacionario de una operación de destilación reactiva para la producción de lactato de isoamilo. Se propone una estrategia de producción para un solvente verde (lactato de isoamilo) mediante el aprovechamiento de materias primas de origen renovable (ácido láctico y alcohol isoamílico) de la agroindustria de la caña de azúcar. Un análisis preliminar del equilibrio de fases y la cinética del sistema de reacción permite definir el caso base para el estudio. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad con diez variables de operación y luego se optimizó el proceso empleando como variables de optimización las temperaturas de alimentación y el flujo de vapor de cima de la columna. Los resultados muestran como diagrama de flujo optimo la Figura 1 que logra obtener una conversión del 99.35% de ácido láctico y una corriente de lactato de isoamilo con una composición superior al 98%.

**Palabras clave:** Destilación reactiva, análisis de sensibilidad, optimización.

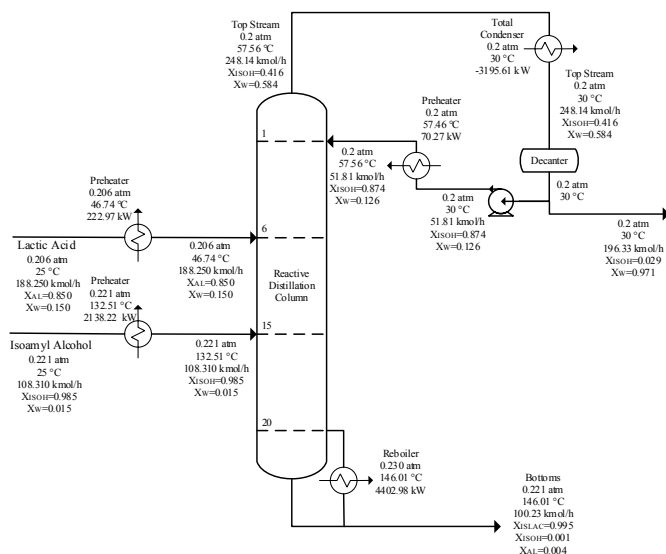


Figura 1. Diagrama de flujo óptimo para el proceso.

## Referencias

- Jiang, Z.; Xu, J.; Zeng, Z.; Xue, W.; Li, S. Kinetics of the Esterification between Lactic Acid and Isoamyl Alcohol in the Presence of Silica Gel-Supported Sodium Hydrogen Sulphate. *Can. J. Chem. Eng.* 2018, 96 (9), 1972–1978.
- Muse, J. Environmentally Friendly Solvent Containing Isoamyl Lactate. US 2007/0155644 A1, 2007.
- Kumar, R.; Nanavati, H.; Noronha, S.; Mahajani S.. A continuous process for the recovery of lactic acid by reactive distillation. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 2006, vol. 81, no 11, p. 1767-1777.
- Mo, L.; Shao-Tong, J.; Li-Jun, P.; Zhi, Z.; Shui-Zhong, L. Design and control of reactive distillation for hydrolysis of methyl lactate. *Chemical Engineering Research and Design*, 2011, vol. 89, no 11, p. 2199-2206.
- Su, C.; Yu, C.; Chien, I.; Ward, J. Plant-wide economic comparison of lactic acid recovery processes by reactive distillation with different alcohols. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2013, vol. 52, no 32, p. 11070-11083.
- Kumar, R.; Mahajani, S. "Esterification of lactic acid with n-butanol by reactive distillation," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 46, no. 21, pp. 6873– 6882, 2007.

## Desarrollo de un programa de control automático de procesos como herramienta de apoyo para laboratorio virtual de formación académica

*Alba Nubia Giraldo Molina<sup>1</sup>, Juan David Tabares Hurtado<sup>1</sup>, Jaison Daniel Arroyo León<sup>1</sup>,  
Juliana Puello Méndez<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación GICI, Programa de Ingeniería Química, Universidad de San Buenaventura  
Cartagena, Dg 32 #30-966, Cartagena, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [jpuello@usbctg.edu.co](mailto:jpuello@usbctg.edu.co)

### Resumen

La simulación y el control automático de procesos tienen relevancia a nivel industrial gracias a su aplicación en procesos tales como refinación, mezclado, transporte y manipulación de fluidos con el fin de producir resultados de manera segura y rentable. El control de procesos debe ser preciso y exigente, debido a los peligros potenciales asociados, ya que pequeños cambios en un proceso pueden tener un gran impacto en el resultado final; es decir, las variaciones en las proporciones, temperatura, flujo y muchos otros factores deben ser consistentes y cuidadosamente controlados para obtener un resultado deseado. Actualmente, la importancia de las aplicaciones de simulación y control automático es un tema clave a nivel industrial en el área de control de procesos e investigaciones para el diseño, desarrollo y modificación de equipos experimentales y control de sistemas interrelacionados y complejos. Es por ello que se ha desarrollado una gran variedad de aplicaciones comerciales para simulación y control de procesos industriales que permiten efectuar la predicción de los efectos de cambios en las condiciones de operación y capacidad, optimización del proceso cuando cambian las características de los insumos y/o las condiciones económicas del mercado, así como el análisis de nuevos procesos para nuevos productos, y la evaluación de alternativas de proceso para reducir el consumo de energía, entre otros.

Por otra parte, desde la perspectiva de formación de estudiantes de ingeniería en el área de control de procesos, la representación gráfica de la información dinámica del proceso y la interacción de los estudiantes con estos mismos a través de un programa de control automático, proporciona una variedad de escenarios y resultados, que permite a los estudiantes pronosticar, comparar y optimizar el

comportamiento de los procesos. Es por ello que en el presente trabajo se presenta el desarrollo de un programa de control automático de procesos a través de soporte informático con el cual se ejecutan diversos procedimientos complejos e interrelacionados, los cuales resultan en la proyección del comportamiento del proceso. Lo anterior se da gracias una serie de etapas con una secuencia lógica, tales como el desarrollo de modelos matemáticos, la implementación de técnicas para la obtención de parámetros dinámicos de proceso, la codificación de algoritmos de los controladores Proporcional Integral Derivativo (PID) y la visualización de las interfaces, necesarios para el desarrollo de simuladores de procesos específicos controlados automáticamente. El programa desarrollado consiste en una interfaz gráfica donde los usuarios podrán realizar control a varios procesos típicos que involucrarán las variables principales que hay en las plantas industriales (Temperatura, Caudal, Presión y Nivel) y aplicar técnicas de sintonía. Esta herramienta puede ser utilizada como apoyo para la formación de estudiantes de Ingeniería Química, Ingeniería de Procesos y afines, en cursos de Control y Simulación, así como en talleres de entrenamiento para personal de plantas industriales.

**Palabras clave:** Control automático de procesos, Educación en Ingeniería Química

## Valorización de residuos sólidos obtenidos en la producción de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) bajo el concepto de biorefinería

Viviana Quintero Dallos<sup>1\*</sup>, Claudia M Valderrama Rios<sup>2</sup>, Ciro E Roza Correa<sup>3</sup>,  
Martha Cervantes Diaz<sup>3</sup>, Nancy C Gonzalez Gonzalez<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación GIA, Programa de Ingeniería Ambiental,  
Universidad Mariana, Calle 18 #No. 34 - 104, Pasto- Nariño.

<sup>2</sup>Grupo de Investigación LEAM, Universidad Industrial de Santander Calle 9 Carrera 27,

<sup>3</sup>Maestría en Ciencias y Tecnologías Ambientales, Grupo de Investigaciones Ambientales para el  
Desarrollo Sostenible – GIADS, Facultad de Química Ambiental,  
Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, Colombia.

<sup>4</sup>Grupo de Investigaciones Ambientales para el Desarrollo Sostenible – GIADS, Facultad de  
Química Ambiental, Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, Colombia;  
Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga, Campus Floridablanca,  
Floridablanca – Santander. Código postal: 681004

\*Autor de Correspondencia: viquintero@umariana.edu.co

### Resumen

Actualmente, en Colombia el cultivo de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) constituye una alternativa promisoría para la sustitución de cultivos de uso ilícito, debido al gran potencial que tienen sus productos en el mercado asociados con beneficios nutricionales. A nivel nacional la semilla de sachá inchi se caracteriza por su alto contenido de aceite y proteínas, con una productividad anual entre 1600 y 5800 kg / hectárea, siendo el aceite su principal producto de comercialización en el mercado.

De acuerdo con lo expuesto y con el ánimo de diversificar la oferta de productos dentro de la cadena productiva, el trabajo de investigación que presenta a continuación se direccionó en la identificación de productos de valor agregado a partir de los residuos sólidos generados durante la producción del aceite (casaca y torta), con tecnologías apropiadas para mejorar el rendimiento y calidad de los productos bajo el concepto de biorrefinería y considerando los postulados de la bioeconomía.

Inicialmente se realizó un levantamiento de información primaria y secundaria con el propósito de construir el diagrama de proceso de obtención de aceite Sachá Inchi; para tal fin se tomó como caso base un cultivo ubicado en el municipio de Oiba, Santander, el cual utiliza en promedio 4 hectáreas con un ren-

dimiento aproximado de 8 Toneladas de estrella/ hectárea cultivada y en la fase industrial el esquema productivo implementado por empresa ubicada en la ciudad de Bucaramanga en donde se procesan 15 toneladas de estrella/mes con un rendimiento de 1 litro de aceite/ 7 kg de estrella procesada. Posteriormente se realizó la caracterización fisicoquímica de la semilla procesada y los coproductos sólidos (torta y cascara), estableciendo como estrategia de aprovechamiento de estas corrientes la combustión y la extracción de proteína. El diagrama propuesto fue llevado a un ambiente de simulación (Aspen Plus) para el cálculo de balances de masa, energía y exergía Seguidamente se evaluaron los impactos ambientales utilizando metodología ACV y se calcularon las ineficiencias exergéticas del proceso, lo cual permitió evaluar en términos de sustentabilidad el aprovechamiento integral de los recursos naturales en el proceso

**Palabras clave:** Biorrefinería, Sacha Inchi, Exergía, Impacto Ambiental.

## Evaluación de cuatro propuestas de biorrefinerías basadas en palma africana mediante el criterio del retorno incremental exergético de la inversión

*Juan Romero-Pérez<sup>1</sup>, Leidy Vergara-Echeverry autor<sup>1\*</sup>, Ángel González-Delgado<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo De Investigación Nanomateriales E Ingeniería De Procesos Asistida Por Computador (NIPAC), Programa De Ingeniería Química, Universidad De Cartagena, Av. Del Consulado Calle 30 No. 48-152, Cartagena, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [lvergaraecheverry@gmail.com](mailto:lvergaraecheverry@gmail.com)

### Resumen

Colombia presenta un crecimiento importante en sus áreas agrícolas, sus variadas cadenas productivas hacen del país un candidato importante en el desarrollo de biorrefinerías, con esto, crece la necesidad de aprovechar integralmente una biomasa y obtener subproductos con alto valor agregado a partir de residuos. En este sentido, las biorrefinerías se presentan como una buena alternativa para el aprovechamiento de biomásas, pero es necesario establecer un parámetro que limite el crecimiento de las líneas productivas; esta investigación desarrolla una evaluación incremental exergética de la inversión (ExROI) de cuatro casos de estudio evitando expandir una planta basada en palma africana cuando no es adecuada en términos de energía útil.

El desarrollo de esta propuesta requirió de simulaciones en el software Aspen Plus y evaluaciones exergéticas con un enfoque incremental de los cuatro escenarios en Excel. El caso base es la producción de aceite de palma a partir de racimo de palma africana. El segundo caso adiciona la producción de aceite de palmiste y torta de palma a partir de un residuo. El tercer caso implementa la producción de hidrogeno a partir de otro residuo del caso base. El último caso de estudio incluye el anterior y adiciona la producción de biodiesel y glicerina a partir del aceite de palma. El caso 2 presenta un mejor comportamiento exergético con un ExROI de 158% con respecto al caso base.

**Palabras clave:** Biorrefinerías, retorno incremental exergético, residuos, biomasas

## Termoeconomía de la producción de etanol carburante por medio de destilación extractiva

*Jaime Arturo<sup>1\*</sup>, Nubia Becerra<sup>1</sup>, Felipe Correa<sup>1</sup>, Juan Castañeda<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Procesos de Separación no Convencionales (GPS), Departamento de Ingeniería Química, Universidad de América, Avenida Circunvalar N° 20-53 (Campus de los Cerros), Bogotá, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [jaime.arturo@profesores.uamerica.edu.co](mailto:jaime.arturo@profesores.uamerica.edu.co)

### Resumen

La producción de etanol carburante por medio del proceso tecnológico de la destilación extractiva utilizando como agente de separación etilenglicol e implementado en el simulador de procesos ASPEN PLUS, es el objeto de estudio de este trabajo, en el cual se hace uso de la termoeconomía como criterio de optimización energética. Debido a que en la destilación extractiva se utilizan dos torres de destilación (la primera para la separación y la segunda para la recuperación del solvente), el proceso presenta una desventaja energética debido a que toda la energía suministrada al sistema no es aprovechada en su totalidad por la presencia de las irreversibilidades, las cuales encarecen aún más un proceso de separación energéticamente costoso y poco eficiente termodinámicamente como lo es la destilación; es por esta razón que éste esquema tecnológico de separación ha sido objeto de múltiples mejoras conceptuales haciendo uso de la intensificación de procesos.

La metodología propuesta para el proceso consiste en formular una estrategia de optimización SQP que relacione la cantidad de calor suministrado por mol de destilado producido bajo las restricciones de etanol anhidro, el cual está basado esencialmente en cuatro pasos: el análisis termodinámico utilizando el concepto de disponibilidad, el análisis económico cuantificado por correlaciones especializadas para destilación, la cuantificación de los costos exergéticos para encontrar el costo de la energía útil, y un balance de insumos/económico para determinar el costo termoeconómico para cada corriente presente en el proceso.

La implementación computacional de la metodología propuesta para el caso de estudio, bajo las condiciones de datos reportados por la literatura abierta, evidencio una reducción del 41,35% al valor termoeconómico por pérdidas exergéticas, con lo cual se aumenta la eficiencia energética del proceso. El esquema de solución propuesto, es de fácil adaptación y aplicabilidad a procesos de separación similares.

**Palabras clave:** Termoeconomía, destilación extractiva, etanol anhidro, exergía, optimización

## Evaluación ambiental de la producción a larga escala de microperlas de quitosano modificadas con tiourea

*Kariana Moreno-Sader, Samir Méramo-Hurtado, Ángel González-Delgado\**

Grupo de Investigación Nanomateriales e Ingeniería de Procesos Asistida por Computador- NIPAC,  
Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena,  
Avenida del Consulado #Calle 30 No. 48 – 152

\*Autor de correspondencia: [agonzalezd1@unicartagena.edu.co](mailto:agonzalezd1@unicartagena.edu.co)

### Resumen

La generación de residuos durante el procesamiento del camarón es un alarmante problema de salud pública y medioambiental, lo que ha motivado a la búsqueda de alternativas de valorización de estos residuos tal como la producción de quitosano. Debido a sus múltiples propiedades, este biopolímero ha sido utilizado en diferentes sectores como el farmacéutico, tratamiento de aguas y biomedicina. En esta investigación, se realizó la simulación y evaluación ambiental de un proceso químico enfocado en la conversión de quitosano a partir del exoesqueleto de camarón hacia microperlas de quitosano modificadas con

tiourea. Para ello, se utilizó el software de simulación Aspen Plus® y el algoritmo de reducción de residuos (WAR). Cuatro casos fueron considerados referentes a las contribuciones de energía y productos. El rendimiento de producción de las microperlas (MPs) fue de 2 kg MPs-Tiourea/kg quitosano. La evaluación ambiental mostró que el caso 3 alcanzó el valor más alto para impactos totales de salida ( $1.23 \times 10^{+3}$  PEI/h), seguido por el caso 2, caso 1 y caso base. Se concluyó que la contribución de energía es menor a la del flujo de productos y que el proceso es amigable con el medio ambiente para las categorías de impactos atmosféricos y toxicológicos.

**Palabras claves:** Evaluación ambiental, quitosano, microperlas, tiourea, simulación

## Modelamiento matemático aplicado a la logística de almacenamiento y dispensación de medicamentos en farmacia

*Maria Fernanda López Sierra <sup>1\*</sup>, Luis Armando Cobo Campo <sup>1</sup>, Paula Andrea Rivera León <sup>1</sup>, Narella Rodríguez Salamanca <sup>2</sup>, Jeffrey León-Pulido <sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Tecnológico ONTARE, Programa de Ingeniería Química, Universidad EAN, Cl. 71 #9 - 84, Bogotá, Cundinamarca, Colombia

<sup>3</sup>Atalanta Science and Technology S.A.S, calle 123 # 7b - 67. 204, Bogotá Colombia

\*Autor de Correspondencia: [mlopezs15186@universidadean.edu.co](mailto:mlopezs15186@universidadean.edu.co)

### Resumen

El panorama logístico del sector farmacéutico exige garantizar el cumplimiento integral de las regulaciones impuestas por los gobiernos a lo largo de la cadena de suministro, ajustándose a las restricciones en cuanto monitoreo de temperaturas, normas de higiene, etc. Actualmente el desarrollo de nuevos modelos logísticos aplicados al sector farmacéutico está en constante cambio en procura de la efectividad y los desafíos de las cadenas de suministro a nivel global. Dentro de los aspectos se consideran de gran relevancia la gestión de inventario, la información sobre la demanda, la gestión de fechas de vencimiento de los medicamentos, garantizar la cadena de frío y la gestión de los centros de distribución y sus pedidos, además de la falta de avance tecnológico, entre otras variables. El presente estudio describe un análisis de las diferentes técnicas de gestión em-

pleadas actualmente, describiendo un modelamiento que permita representar el comportamiento de la gestión en farmacias. Con el propósito de contribuir al desarrollo de soluciones enfocadas a modelos de inventario mejorados, se propone un modelamiento matemático para un modelo de inventario de revisión continua  $(Q,r)$ , teniendo en cuenta múltiples productos, restricciones de vida útil, capacidad de almacenamiento de medicamentos que requieren cadena de frío y variaciones en la demanda, con el uso de algoritmos genéticos (GA). Dentro de los resultados se observa que para una aplicación a una farmacia real, se requiere hacer un análisis sobre los históricos de la demanda, para determinar un pronóstico más acertado, realizar un análisis ANOVA (análisis de la varianza) para examinar si existe diferencia en la demanda de productos entre los diferentes períodos, puede dar una visión más clara de esto, a partir de los datos utilizados de inventario donde se tomaron como referencia tres productos, con un porcentaje de mantenimiento del 19% por cada producto comprado, se realiza un supuesto de ventas y se calcula punto de reorden, teniendo en cuenta un inventario de seguridad para cada producto. Se plantea el modelamiento matemático teniendo en cuenta la cantidad de pedido, límite de almacenamiento para productos de cadena fría, presupuesto y vida útil. El caso de estudio es realizado con el soporte de Excel (Saracoglu, Topaloglu, & Keskinturk, 2014). Finalmente, el inventario demuestra que contar con un punto de reorden específico para cada producto, es clave para mantener una rotación constante de cada uno y evita pérdidas de clientes por escasez, a partir del análisis se obtiene que las diferentes variables afectan de manera significativa al modelo, siendo que la variable demanda representa mayor afectación al modelo, las variables consideradas representan de manera ajustada el comportamiento de la gestión en farmacias.

**Palabras clave:** Gestión de inventario, farmacia, modelamiento matemático, logística.

## Referencias

Saracoglu, I., Topaloglu, S., & Keskinturk, T. (2014). A genetic algorithm approach for multi-product multi-period continuous review inventory models. *Expert Systems with Applications*, 41(18), 8189-8202. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.07.003>

## Tratamiento de lixiviados de relleno sanitario por medio de oxidación en agua subcrítica usando $\text{KMnO}_4$ como agente oxidante

Laura Moreno<sup>1</sup>, Paula Manrique<sup>1</sup>, Víctor Marulanda<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia

<sup>2</sup>Programa de Ingeniería Química, Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia

\*Autor de correspondencia: vfmarulanda@unisalle.edu.co

### Resumen

El tratamiento de lixiviados de relleno sanitario por diferentes métodos fisico-químicos y biológicos continua siendo el foco de diversas investigaciones. Sin embargo, ningún método separadamente logra alcanzar las elevadas eficiencias de mineralización de materia orgánica y de nitrógeno total requeridas. Recientemente, diversos autores han estudiado el proceso de oxidación en agua supercrítica con resultados exitosos en cuanto a eliminación de materia orgánica. No obstante, este proceso requiere temperaturas de reacción superiores a 450 °C, lo cual ha limitado su aplicación. En este trabajo se reportan los resultados de la oxidación en agua subcrítica en un reactor batch de lixiviados usando permanganato de potasio como oxidante, en el rango de temperaturas 300-350 °C, tiempos de 20-40 min y excesos de oxígeno de 0%-25%. Los resultados experimentales mostraron que es posible obtener conversiones de la materia orgánica, medida como desaparición de DQO, y de nitrógeno total superiores a 95% a temperaturas de 350 °C, 20 min de tiempo de reacción y con oxígeno estequiométrico, siendo significativo solo el efecto de la temperatura. Adicionalmente, los resultados de los análisis al precipitado encontrado en el efluente del reactor sugieren que el permanganato no solo actúa como oxidante, sino también que hay un efecto de coagulación-floculación del dióxido de manganeso que se forma durante la descomposición del permanganato. La menor temperatura de operación en comparación con otros procesos y las elevadas conversiones alcanzadas demuestran la versatilidad del proceso de oxidación en agua subcrítica para el tratamiento eficiente de lixiviados.

**Palabras clave:** lixiviados, oxidación en agua subcrítica, permanganato de potasio, DQO

## Modelo de un Ciclo Orgánico de Rankine Híbrido con energía solar y calor residual: Caso estudio en Riobamba, Ecuador

Paul Palmay Paredes<sup>1\*</sup>, Mónica Andrade<sup>1</sup>, Hugo Calderon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias/Escuela de Ingeniería Química/Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba (Ecuador).

\*Autor de Correspondencia: paul.palmay@epoch.edu.ec

### Resumen

El presente estudio tiene como objetivo desarrollar un modelo matemático de un Ciclo Orgánico de Rankine Híbrido activado por energías renovables (energía solar) y calor residual proveniente de los gases de escape del horno de cocción en una empresa de cerámicas de la localidad. Para la modelación se utilizó colectores solares cilíndricos parabólicos, tecnología óptima en este tipo de diseños, más un tanque de almacenamiento térmico (storage tank) dimensionado a condiciones estacionarias, que alimentan en conjunto con el recuperador de calor de cogeneración al evaporador del ciclo.

El sistema se planteó para que la producción máxima de electricidad se genere con la mayor explotación del calor residual disponible del horno y un área de colectores de 600 m<sup>2</sup>. El modelo del ciclo orgánico de Rankine se analiza considerando estable y estacionario con un modelo termodinámico desarrollado en el Engineering Equation Solver (EES), comparando 5 fluidos de trabajo: Tolueno, Ciclohexano, n-Pentano, Isopentano y MDM, obteniendo una máxima producción de electricidad con Tolueno que alcanzó 79 KW y una eficiencia del 20.52%.

**Palabras clave:** ciclo orgánico de rankine, energía solar, calor residual, simulación.

## Evaluación del equilibrio de fases en procesos de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> – cálculo de la energía libre de solvatación

*Diego Henao<sup>1</sup>, Gustavo Orozco<sup>2\*</sup>*

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Bogotá D.C, Colombia

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Bogotá D.C, Colombia

\*Autor de correspondencia: [gaorozcoa@unal.edu.co](mailto:gaorozcoa@unal.edu.co)

### Resumen

Una nueva metodología es presentada para el cálculo de la energía libre de solvatación en el simulador GROMACS. Algunos potenciales intermoleculares como lo son los de tipo Buckingham, presentan una singularidad matemática que proporciona soluciones a cortas distancias de interacción carentes de significado físico, dificultando así su implementación directa en el simulador GROMACS en cálculos de energía libre. Sin embargo, con la metodología propuesta en este trabajo la cual corresponde a la implementación de potenciales tabulados, se hace posible resolver la problemática planteada. En la literatura, no existe información disponible asociada a cálculos de energía libre partiendo de la información de energía total, a lo cual, se propone en este trabajo, proporcionar una alternativa para cálculos de esta naturaleza en el simulador GROMACS.

**Palabras clave:** Dinámica Molecular, GROMACS, Potencial Tabulado, Integración Termodinámica.

## Assessment and implementation of the optimization module into a real time optimization for a FCCU

*Adriana L. Rodríguez D.<sup>1</sup>, Carlos A. M. Riascos<sup>1\*</sup>.*

<sup>1</sup>Grupo de Ingeniería de Sistemas de Proceso, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia

\*Autor de correspondencia: [camartinezri@unal.edu.co](mailto:camartinezri@unal.edu.co)

### Resumen

Optimization is widely used for defining optimal values for operational variables, and it could be implemented off-line and on-line. On-line optimization is useful in processes subject to frequent variations in raw materials or in external constraints, such as refining ones. In modern refineries, on-line optimization of the Fluid Catalytic Cracking Unit (FCCU) is essential, due to the high commercial value of the cracking products. Within Real Time Optimization (RTO), the on-line optimization module plays a fundamental role since objective function, constraints and decision variables are defined to optimize the operational conditions when the system is affected by disturbances on the inputs, and the performance of this module must guarantee good solutions in a sufficiently short time to allow on-line implementation. This work presents the assessment for algorithms selection and the implementation results for the optimization module into a three layers RTO on a virtual FCCU. This implementation considered the definition of an economic objective function, a sensitivity analysis to evaluate how profit is affected by system variables; whereas, in the assessment, deterministic (SQP and interior point) and stochastic (GA: genetic algorithm) algorithms were considered. For the objective function, process characteristics and economic parameters -such as prices and demand for products, costs of raw materials and utilities- were considered. Results reveal that: i) the product value as a function of its quality is fundamental for the estimation of the optimal operational conditions; ii) the order of relevance of the variables is: ratio catalyst flow/feed flow > feed flow > feed temperature > air flow > air temperature; iii) GA allows to obtain satisfactory operational conditions, avoiding the obstacles imposed by the existence of local optima, and iv) parameters of the GA must be adjusted to obtain the solution in the available time for on-line optimization step within the RTO.

**Palabras clave:** On-line optimization implementation, Real Time Optimization, Optimization algorithms assessing. Fluid Catalytic Cracking Unit.

## Diseño de un secador con bombas de calor para cacao regional del municipio de Tumaco

*Julian Acosta<sup>1</sup>, Edward Herrera<sup>1</sup>, Jasson Yandar<sup>1\*</sup>, Guillermo Luna<sup>1</sup>, Carlos Herrera<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación GILDOP, Ingeniería de Procesos, Universidad Mariana, Pasto-Nariño

<sup>2</sup>Corporación CIAD, Coordinador Convenio cacao 1872-02, CIAD -Agrosavia Pasto-Nariño Autor de Correspondencia: [jyandar@umariana.edu.co](mailto:jyandar@umariana.edu.co)

### Resumen

El método de secado tradicional que se implementa actualmente en el departamento de Nariño, específicamente en el municipio de Tumaco, no es un proceso de secado eficiente, debido a que determinadas variables como el tiempo, temperatura y humedad no son controlados, afectadas por la incipiente tecnificación presente en el método tradicional, lo cual hace poco efectivo el proceso de secado, incidiendo directamente en la calidad organoléptica del grano de cacao. Para brindar una alternativa de solución a estos inconvenientes se propone el diseño de un secador con bombas de calor que mejore o mantenga las características del cacao fino y de aroma producido en la zona. Como primera fase, se realizó un análisis del contexto sobre la teoría del secado de productos y de los diferentes tipos de secadores acoplados con bombas de calor que se han implementado en el mundo. Posteriormente, se propuso un diseño que consta de una cámara de secado, un evaporador, un condensador, un compresor, una válvula de expansión. Para el dimensionamiento del secador con bomba de calor se tuvo en cuenta la producción anual de cacao de la Asociación Cortepaz ubicada en el Consejo Comunitario las Varas, equivalente al 22 % tomando como base la máxima capacidad del secador. Luego, se calculó el calor necesario para secar 50 Kg de cacao hasta un 7 %, así mismo para el dimensionamiento de la cámara de secado se realizaron diferentes pruebas experimentales en un secador de bandejas. Para la implementación se realizó un análisis con una matriz de selección de materiales para definir los componentes con los que se construirá el secador, teniendo en cuenta parámetros mecánicos, económicos y térmicos. Se obtuvo que la capacidad mínima del secador es de 25 kg y la máxima capacidad es de 50 kg, con capacidad de 2,5 Kg por bandeja con dimensiones 0,025 m alto, 0,34 m ancho, 0,53 m fondo, obteniendo como área total de la cámara de secado con bombas de calor de 0.644 m<sup>2</sup>. Cabe resaltar también que los materiales seleccionados para la elaboración del secador fueron poliuretano expandido como aislante debido a sus propiedades técnicas y su costo, igualmente se seleccionó

acero inoxidable para la elaboración de la cámara de secado debido a su resistencia mecánica, maleabilidad y un buen desempeño para realizar el secado teniendo en cuenta que el calor necesario para el funcionamiento adecuado del secador es de 0,3 kW. Con el diseño de este prototipo se concluye que el tiempo de tiempo de secado es de 6 horas, logrando una mejora en la eficiencia energética, garantizando la uniformidad en parámetros de calidad del grano y conservando sus características organolépticas adecuadas.

**Palabras clave:** Cacao, diseño, secador de cacao, bombas de calor

## Simulación del proceso de extracción de quitina/ quitosano a partir de residuos agroindustriales de Tumaco-Nariño

*Andrés Felipe Soto Cuellar<sup>1</sup>, William Alfredo Pérez Cabrera<sup>1</sup>, James Alberto Marín Gómez<sup>1</sup>, Luis Alberto Ríos<sup>2\*</sup>, Jorge Nelson López Macías<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Procesos Químicos Industriales, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Antioquia

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Acuicultura, Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Universidad de Nariño

\*Autor de Correspondencia: [luis.ríos@udea.edu.co](mailto:luis.ríos@udea.edu.co)

### Resumen

Colombia es un país tropical con gran cantidad de cuencas hidrográficas que lo posicionan en el sexto puesto en recursos hídricos a nivel mundial, ostentando el segundo puesto en biodiversidad y comunidades ícticas del planeta. La acuicultura colombiana ha logrado alcanzar gran importancia dentro del sistema alimentario por la producción de bienes de gran calidad biológica, además de puntualizar una demanda de comercio mundial y nacional bastante prospera. Recientes informes muestran que la camaronicultura en el pacífico tumaqueño se está reactivando con la puesta en marcha de más de 240 hectáreas de espejo de agua (450 hectáreas de cultivo de camarón), además ha demostrado que este cultivo puede convertirse en motor de desarrollo en regiones del país donde existe muy pocas opciones productivas para generar empleo. Sin embargo, los residuos generados por esta industria amenazan fuertemente su productividad, debido a que la industria de camarón entrega toneladas de desechos al mar sin ningún tipo de control, generando un desequilibrio ecológico en la zona. Estos

desechos están entre el 40 y 67% del peso total del camarón y lo conforman principalmente la cabeza y el exoesqueleto de este crustáceo. Este residuo se puede aprovechar al extraer carotenos, proteínas y quitina, esta última se transforma para obtener quitosano, un biopolímero de alto valor agregado y con gran variedad de aplicaciones en la industria médica, agrícola y polimérica. Actualmente el proceso convencional para obtener el quitosano se basa en la despigmentación del residuo, desproteínezación y desmineralización para obtener la quitina y por último se procede a la des-acetilación para obtener el quitosano. Diversos autores aluden otras rutas alternativas, que invocan mejoras al proceso desde el punto técnico y ambiental. En este trabajo se simuló en Aspen Plus en procesos convencionales y se comparó con el proceso ácido en frío, que trae como novedad la obtención de quitina/quitosano en una sola etapa. Los datos de entrada como los resultados fueron validados en laboratorio y se obtuvo que las cantidades de carotenos obtenidos no justifican los insumos y la energía gastada para este fin. El proceso convencional presenta más etapas, pero la cantidad de ácido y base es menor, además de permitir reusar estas soluciones, el proceso en frío necesita la neutralización del ácido para precipitar la quitina y por obligación debe estar en frío para evitar altas degradaciones del biopolímero, esta baja temperatura trae sobrecostos en el proceso. Además, uno de los puntos que proponen los autores de este método nuevo es la obtención del quitosano una vez se neutraliza el ácido, resultado no obtenido en el laboratorio al alcanzar un grado de desacetilación de 15% que es característico de una quitina. En conclusión, al simular ambos procesos y verificarlos en laboratorio, el proceso en frío no presenta grandes ventajas ante el convencional y por el contrario conlleva a mayores gastos de los normales por el tratamiento de residuos, mayores gastos de reactivos y por las bajas temperaturas manejadas que necesita este proceso.

**Palabras clave:** Quitina, quitosano, desmineralización, desproteínezación, desacetilación.

## Desempeño de un sistema embebido para el modelamiento dinámico de una columna de destilación

*Sandra Rodríguez<sup>+</sup>, Manuel Figueredo<sup>+</sup>, Edgar Mayorga\**

<sup>+</sup>Grupo de Energía, Materiales y Medio Ambiente GEMA, Departamento de Procesos Químicos, Universidad de la Sabana, Chía Colombia.

\* Grupo de Física y Matemáticas aplicadas FIMA, Departamento de Matemáticas, Física y Estadística, Universidad de la Sabana, Chía

\*Autor de Correspondencia: [Manuel.figueredo@unisabana.edu.co](mailto:Manuel.figueredo@unisabana.edu.co)

### Resumen

El esfuerzo computacional en la resolución de modelos basados en procesos es de interés en las actividades relacionadas con modelamiento, optimización y control de procesos. Definido como el tiempo requerido por la CPU en la solución de una tarea específica, cada vez se hace menor debido al continuo desarrollo en hardware y software, lo que ha permitido evaluar de forma más eficiente y económica los modelos asociados a procesos con alto grado de complejidad [1].

Software de acceso libre se han convertido en una alternativa de interés para la solución sistemas de ecuaciones diferenciales (ODE) y ecuaciones diferenciales y algebraicas (DAE). Tal es el caso de Gekko, que es una biblioteca Python orientada a objetos que ofrece herramientas de simulación, optimización, reconciliación de datos y optimización dinámica, entre otros. Proporciona reducción de modelos por medio de colocación ortogonal de elementos finitos hasta de 100000 variables más ecuaciones [3]. Algoritmos de solución como punto interior (IPOPT), Active set solver (APOPT) o BIM-based performance optimization (BPOPT) pueden utilizarse dentro de esta librería, siendo el IPOPT el que presenta mejores propiedades de convergencia y mejor desempeño para sistemas con un alto número de ecuaciones y grados de libertad [4] y [5].

Con relación al hardware, las tarjetas Raspberry Pi, las cuales hacen parte de una generación de sistemas embebidos con alta capacidad de hardware y bajo precio [6], son de interés para el análisis del consumo computacional en el modelamiento dinámico de un proceso compuesto por DAEs.

Como caso de estudio, se analizó el proceso de destilación de las mezclas Benceno- Tolueno y Benceno – Tolueno - p-Xyleno (BTX). Durante los últimos 60 años se han desarrollado varios modelos de columnas basados en el número de componentes, idealidad de la mezcla, hold up del sistema, tipos de condensador y rehervidor, entre otros [2] y [7]. El número de ecuaciones está relacionado con el grado de rigurosidad del modelo, autores como Seader et al [7] consideran  $N(2C+3)$  ecuaciones DAE más las ecuaciones de equilibrio y entalpia del sistema, siendo N el número de platos y C el número de componentes. Bequette et al [2] sugiere un modelo más sencillo aplicado a sistemas Binarios con volatilidad relativa y flujos de vapor y liquido constantes. Este sistema puede contener entre 24 y mas de 200 ecuaciones DAE.

El presente trabajo, evaluó el tiempo computacional que lleva a una tarjeta Raspberry Pi 3B+ desarrollar el modelo dinámico de una columna de destilación para la separación de BTX empleando la librería Gekko variando el número de componentes y platos del sistema desde 29 hasta 33, donde se analizaron entre 21750 y 39600 variables de estado. El tiempo computacional en el desarrollo del modelo se encontró entre 4,89 s y 10,5 s. Se utilizó el algoritmo de punto interior encontrando que el tiempo requerido en el desarrollo del modelo es influenciado por el número de iteraciones. Asimismo, se encuentra que la tarjeta Raspberry Pi 3B+ tiene alto potencial en usos en optimización y MPC.

**Palabras clave:** Raspberry Pi 3B+, Python, Gekko, Modelo Dinámico, Columna de Destilación

## Bibliografía

- [1] D. M. Lima, M. V. Americano da Costa, and J. E. Normey-Rico, "A flexible low cost embedded system for Model Predictive Control of industrial processes," *2013 Eur. Control Conf.*, pp. 1571–1576, 2013.
- [2] B. W. Bequette, *Process Dynamics Modeling, Analysis and Simulation*. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1998.
- [3] L. Beal, D. Hill, R. Martin, and J. Hedengren, "GEKKO Optimization Suite," *Processes*, vol. 6, no. 8, p. 106, 2018.

- [4] J. D. Hedengren, R. A. Shishavan, K. M. Powell, and T. F. Edgar, "Nonlinear modeling, estimation and predictive control in APMonitor," *Comput. Chem. Eng.*, vol. 70, pp. 133–148, 2014.
- [5] L. T. Biegler and V. M. Zavala, "Large-scale nonlinear programming using IPOPT: An integrating framework for enterprise-wide dynamic optimization," *Comput. Chem. Eng.*, vol. 33, no. 3, pp. 575–582, 2009.
- [6] J. Kirby, L. Chapman, and V. Chapman, "Assessing the Raspberry Pi as a low-cost alternative for acquisition of near infrared hemispherical digital imagery," *Agric. For. Meteorol.*, vol. 259, no. May, pp. 232–239, 2018.
- [7] D. Seader, J.D. Henley, Ernest J. KeithRoper, *Separation Process Principles, Chemical and Biochemical Operations*, Third Edit. J.Wiley & Sons, Inc., 2010.

## CAPÍTULO IX: Tópicos ambientales

---

*Líder de línea temática:*

**Paola Andrea Acevedo Pabón**

Universidad Cooperativa de Colombia

La creciente preocupación por el futuro del medio ambiente ha llevado a explorar nuevos enfoques de la ingeniería química en Ciencia, Tecnología e Innovación. En el contexto nacional, se han venido estudiando nuevas estrategias de aprovechamiento de aguas residuales y desechos sólidos provenientes de la industria y la agroindustria con el objetivo de reducir los impactos ambientales asociados a la generación de residuos. Modelos de gestión de residuos sólidos se han introducido con el uso de herramientas de inteligencia artificial. Las tecnologías de remediación ambiental como la adsorción y la fotocatalisis se han abordado para tratar contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos, colorantes e hidrocarburos. Este capítulo compila resúmenes de investigaciones sobre la remoción de contaminantes del suelo y de los recursos hídricos, estrategias de gestión ambiental, y recuperación de materiales con propiedades adsorbentes a partir de residuos de la agroindustria.

## Extracción por hidrodestilación y uso de solventes verdes (D-Limoneno) en la reducción del volumen de poliestireno expandido

Carlos Fidel Granda-Ramírez<sup>1\*</sup>, Evelyn Jiménez-Rojas<sup>1</sup>, Santiago Pulgarín-Penagos<sup>1</sup>, María Alejandra Vásquez-Tuberquia<sup>1</sup>, Camila Gómez-Jaramillo<sup>1</sup>, Gina Hincapié-Mejía<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad, Ingeniería Ambiental, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Cra 78 N° 65 – 46

\*Autor de Correspondencia: [carlos.granda@colmayor.edu.co](mailto:carlos.granda@colmayor.edu.co)

### Resumen

El poliestireno expandido (EPS) es un material plástico espumado utilizado en el sector de la construcción, principalmente como aislamiento térmico y acústico, así como en envases y actividades de envasado, es no biodegradable, químicamente inerte, no se desintegra y no desaparece en el medio ambiente, el cual causa graves daños al medio ambiente, ya que, cuando ingresa a los ecosistemas, contaminan el recurso hídrico. Actualmente existen varias opciones que buscan mitigar los impactos generados por el EPS, entre los cuales encontramos la trituración, la compactación térmica, la incineración y la disolución en solventes químicos. Dado lo anterior, se han implementado nuevas tecnologías verdes que son amigables con el medio ambiente como es el caso del uso del D-limoneno, Alarcón y sus colaboradores lograron una reducción del 97.58% en el volumen sólido de poliestireno con una relación 1: 1 (solvente: EPS), por otra parte, Chandra et al., desarrollaron un proceso completamente ecológico para obtener nanopartículas y micropartículas de residuos de EPS utilizando D-limoneno para disolver este residuo basado en un método de difusión de emulsión.

El objetivo de esta investigación fue realizar la extracción del D-Limoneno a partir de la cáscara de naranja por medio de hidrodestilación y utilizarlo en la reducción del 100% del volumen del EPS analizando las variables proporción en volumen de solvente:EPS y la velocidad de agitación a través de un diseño experimental factorial (3 niveles para cada uno de los dos factores).

En el proceso de hidrodestilación al utilizar 2 Kg de cáscara de naranja con 3 L de agua se obtuvieron 3 ml de aceite esencial y en el proceso de reducción de volumen, se analizaron como factor 1 las relaciones solvente:EPS (1:1; 1:2 y 1:3) y

como factor 2 la velocidad de agitación (100, 200 y 300 RPM); adicionalmente, se realizó un control sin agitación.

Inicialmente, el experimento de control muestra que a medida que sube la proporción solvente:EPS el tiempo aumenta, cambiando de 220 segundos para la proporción 1:1 a 450 segundos para la proporción 1:3, situación que observa a lo largo del desarrollo de la investigación al utilizar el sistema de agitación.

Con agitación, se encontró que la mejor relación solvente: EPS fue 1:2, ya que, con estas condiciones se redujo el volumen del EPS en un 100% en 101 segundos tiempo similar para una misma reducción del volumen para una relación 1:1 solvente:EPS a 300 RPM. Se encontró además que la agitación es un factor muy importante, ya que, a mayor agitación, menor tiempo de reducción del volumen, pero la diferencia del tiempo entre 300 RPM y 450 RPM no es muy significativa. Concluyendo, la hidrodestilación es un método efectivo para la extracción de D-limoneno, el cual la capacidad de una forma relativamente rápida de reducir el 100% del volumen sólido del EPS tipo 2 al disolverlo con agitación de 300 rpm en un tiempo promedio de 101 segundos para una relación 1:2 (solvente:EPS); haciendo que el uso de este solvente verde viable en este tipo de procesos.

**Palabras clave:** Poliestireno expandido, Solventes verdes, D-limoneno, Hidrodestilación

## Pirolisis lenta de la pulpa de café: Caracterización de la fracción sólida

*Stefany Arias Agudelo<sup>1</sup>, Laura Victoria Arango León<sup>1</sup>, Catherine Gonzales Villegas<sup>1</sup>, Doris Jackeline Monsalve Londoño<sup>1</sup>, Andrea Tamayo Londoño<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Grupo Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad, Ingeniería Ambiental, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Transversal 78 # 65 – 46. Bloque Patrimonial.

\*Autor de correspondencia: [andrea.tamayo@colmayor.edu.co](mailto:andrea.tamayo@colmayor.edu.co)

### Resumen

Dentro de los principales renglones de la economía del país se encuentra la producción de café, en el año 2017 está alcanzó una producción cercana a los 2 millones de sacos de 60 kg lo que implicó una generación de aproximadamente 224 mil Ton de pulpa fresca. La pulpa puede ser clasificada como una biomasa lignocelulosica húmeda, que posee fenoles y cafeína entre otras moléculas que implican un reto para su manejo por metodologías convencionales tales como el compostaje, la alimentación animal – ensilaje – y la digestión anaerobia. Actualmente está es almacenada en los agroecosistemas cafeteros implicando impactos como la generación de lixiviados y olores, afectando el recurso suelo, agua y aire. La pirolisis es uno los procesos termoquímicos más eficientes para la conversión de biomasa en productos líquidos (bio – oil), solidos (char o biochar) y gaseosos. El rendimiento de estos componentes depende de la composición química de la biomasa y de los parámetros operacionales usados. El biochar tiene muchos usos, tales como combustión directa, secuestro de carbono y la adsorción de humedad y nutrientes en el suelo, reduciendo la necesidad de fertilizantes. Puede también ser usado como un absorbente para la remoción de contaminantes del suelo. El objetivo de este estudio fue determinar la influencia de la temperatura en la calidad de la fracción sólida producto de la pirolisis lenta de la pulpa de café. La biomasa fue inicialmente sometida a un proceso de secado. Los resultados del TGA mostraron que la pirolisis de la pulpa ocurre principalmente entre los 400°C y 600°C (denominados M1 y M2 en el diseño experimental), empleando estos en el proceso pirolítico a una tasa de calentamiento de 0.5°C/min. En ambos procesos, la fracción sólida alcanzó un pH ligeramente mayor a 12, lo que indica su potencial como encalante de suelos ácidos. El biochar obtenido en M1 presento el menor contenido de cenizas (49.0%) lo que representa una mayor conversión global en la combustión, aunque lejana

de los resultados de la madera y del carbón bituminoso; M1 represento el mayor contenido de carbón fijo (51.0%). En cuanto al poder calorífico M1 resulto en 15.16 MJ/Kg y M2 en 15.87 MJ/Kg, este potencial energético es bajo en comparación con la madera (21 MJ/kg) y el carbón bituminoso (26.2 MJ/kg); la relación H/C y O/C fueron de 0.049% y 0.9%, y 0.069% y 0.54% para M1 y M2 respectivamente. Estos resultados indican que el biochar obtenido a partir de pulpa de café no representan un alto valor energético y por lo tanto su uso potencial en procesos de combustión no sería eficiente. Adicionalmente se evaluó el área superficial, para identificar posibles usos como adsorbente de contaminantes, obteniendo  $3.17 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  y  $5.27 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  para M1 y M2 respectivamente. Indicando que el proceso pirolítico no es suficiente para alcanzar estas propiedades, que se requiere evaluar diferentes catalizadores y variaciones en el proceso de pirolisis lenta para mejorar el valor energético y el potencial adsorbente de la fracción sólida obtenida.

**Palabras clave:** pulpa de café, pirolisis lenta, biochar

## Degradation of organic compounds, present in wastewater from clinical laboratories, using a photocatalytic process

*José Herney Ramírez Franco<sup>1</sup>, Hugo Ricardo Zea Ramírez<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en materiales catálisis y medio ambiente, Departamento de ingeniería química y ambiental, Universidad Nacional de Colombia – sede Bogotá, Av. Cra 30 # 45 – 03, Ciudad Universitaria – Bogotá.

\*Autor de correspondencia: [jhramirezfra@unal.edu.co](mailto:jhramirezfra@unal.edu.co)

### Abstract

Wastewater, from a clinical laboratory process, was used as the reaction media to assess the performance of ilmenite as a photo catalyst. The present research aimed to assess the effects of ilmenite use in the discoloration process of a real wastewater. The wastewater comes from a gram staining process used to identify pathogenic microorganisms present in biological samples; the active ingredient is crystal violet which is a triphenylmethane dye derivative, highly toxic and non-biodegradable, and gives a shiny purple color to the wastewater. This property allows the identification of the performance of ilmenite in the discoloration and degradation of complex organic substances by photocatalysis. The ilmenite composition, crystallographic structure and specific area were deter-

mining by X-Ray Fluorescence, X-Ray Diffraction, Scanning Electron Microscopy and BET Nitrogen adsorption sortometry techniques, while the discoloration process of the wastewater was measured by Visible spectrophotometry and pH change trough the reaction time, evaluating different ilmenite loads, particle size and stability under light sources with different energies. As result, a 100% wastewater discoloration diluted at 5% (V/V) using ilmenite as the photo-catalyst, hydrogen peroxide as electron acceptor under a 254 nm wavelength ultraviolet light irradiation, during a 3-hour exposure time. Solution pH dropped about 0.8 units showing the formation of acids in the reaction process. Chemical oxygen demand analysis confirmed that acid formation and discoloration were associated to organic substances mineralization

**Key Word:** Photocatalysis, dyes, ilmenite, Chemical oxygen demand, discoloration.

## Diseño de una columna de adsorción para la remoción de níquel de aguas contaminadas usando biochar derivado de cascarilla de arroz

Luis Neil Tejeda<sup>1,2</sup>, Carlos M. Arrieta-Hurtado<sup>1</sup>, Luz M. Ramos-Torres<sup>1</sup>, Lesly Tejeda-Benítez<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Grupo de investigación de Diseño De Procesos y Aprovechamiento de Biomásas.  
Facultad de Ingeniería. Universidad de Cartagena

<sup>2</sup> Grupo de investigación en ciencias Biomédicas, toxicológicas y ambientales, Campus Zaragocilla.  
Facultad de Medicina. Universidad de Cartagena

\*Autor de correspondencia: [ltejeda@unicartagena.edu.co](mailto:ltejeda@unicartagena.edu.co)

### Resumen

La contaminación con níquel en cuerpos híbridos constituye un problema de salud pública debido a la repercusión que genera en las poblaciones cercanas a diferentes cuerpos de agua. La Quebrada Uré es una de las cuencas hidrográficas del departamento de Córdoba que sufre de este problema, producto de la actividad minera. Por tanto, se hace necesario el diseño de tecnologías que sirvan de solución a esta problemática para la mejora de la calidad de vida de las comunidades. En este trabajo se diseñó una columna de adsorción para la remoción de níquel de aguas contaminadas utilizando biochar derivado de cascarilla de arroz, como material adsorbente para su posterior escalamiento a dimensiones de escala piloto. Para ello, se realizaron experimentos en la columna de adsorción

construida. En cada experimento se tomaron muestras de agua a la salida de la columna cada 15 minutos hasta llegar a las 2 horas para su posterior análisis. Adicionalmente, se realizaron cálculos de porcentaje de remoción, construcción de curvas de ruptura y determinación de parámetros de escalamiento de la columna. Se obtuvieron porcentajes de remoción entre 19% y 86%, tiempos de ruptura entre 12 y 46 minutos, obteniendo los mejores porcentajes con una altura de 20 cm y 25 ppm de níquel. Las alturas de lecho no utilizada (HLMU) que se pudieron determinar fueron de 12,11 cm y 7,23 cm. Finalmente, para cada proceso de adsorción se comparó el comportamiento de la curva de ruptura del biochar respecto a la del carbón activado. Se observó que a los 120 minutos el biochar alcanzó un porcentaje de saturación de 90%, mientras que el carbón activado alcanzó un 25%, probablemente debido a la menor área superficial del biochar, por lo cual se recomienda mejorar el proceso de sinterización de este material y medir su área superficial para que sea comparada con la del carbón activado.

**Palabras clave:** Biochar, curvas de ruptura, columna de adsorción, remoción de níquel.

## Estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes fijas en la zona mamonal de cartagena usando la metodología de factores de emisión

*Luis Neil Tejada<sup>1,2</sup>, Angelith Bonfante<sup>1</sup>, Ramiro Rodríguez<sup>1</sup>, Lesly Tejada-Benítez<sup>1,2\*</sup>*

<sup>1</sup> Grupo de investigación de Diseño De Procesos y Aprovechamiento de Biomásas. Facultad de Ingeniería. Universidad de Cartagena

<sup>2</sup> Grupo de investigación en ciencias Biomédicas, toxicológicas y ambientales, Campus Zaragocilla. Facultad de Medicina. Universidad de Cartagena

\*Autor de correspondencia: [ltejeda@unicartagena.edu.co](mailto:ltejeda@unicartagena.edu.co)

### Resumen

La contaminación atmosférica es el principal riesgo ambiental para la salud, estimándose que una de cada nueve muertes en todo el mundo es el resultado de condiciones relacionadas con la contaminación atmosférica. Una de las principales fuentes de contaminantes del aire es la actividad industrial. La Zona Industrial de Mamonal, ubicada al sureste de la ciudad de Cartagena de Indias, comprende una gran diversidad de industrias entre las que se destacan: petroleras, alimentari-

cias, cementeras, metal mecánicas, plásticos, cerámicas, entre otras. Para estimar las emisiones atmosféricas generadas en esta área, se elaboró un inventario de estimaciones con las emisiones de las empresas, consideradas como fuentes fijas, en las cuales, se estimó la carga contaminante y el impacto generado al aire que está afectando silenciosamente a la salud humana y al medio ambiente de la zona. Dentro del área seleccionada para la realización de este estudio, se tomaron 10 empresas consideradas las más grandes de la zona, usando la metodología de factores de emisión del compendio AP-42 de la EPA. Los resultados obtenidos muestran que el 97% de los contaminantes en la atmósfera provienen del material particulado, y el 3% restante provienen de los gases (NOx, SOx y COx). Los óxidos de nitrógeno se encuentran en mayor concentración, emitiendo 0,829 kg/hora y el que se encuentra en menor concentración son los óxidos de azufre, emitiendo un total de 0,058 kg/hora a la atmósfera. Estos gases no exceden la norma de la EPA, mientras que el material particulado con una emisión de 46,14 kg/hora, sí las excede. Como conclusión, las actividades realizadas en la Zona Industrial de Mamonal generan emisiones por encima de los límites internacionales, por lo tanto, deben ser vigiladas para la proteger a la población.

**Palabras claves:** Factores de emisión, AP-42, fuentes fijas, contaminación atmosférica.

## Evaluación del potencial fitorremediador de *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* en aguas contaminadas con Níquel II

Luis Neil Tejada<sup>1,2</sup>, Nataly Moreno-Rubio<sup>1</sup>, Daniela Ortega-Villamizar<sup>1</sup>, Lesly Tejada-Benítez<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Grupo de investigación de Diseño De Procesos y Aprovechamiento de Biomosas. Facultad de Ingeniería. Universidad de Cartagena

<sup>2</sup> Grupo de investigación en ciencias Biomédicas, toxicológicas y ambientales, Campus Zaragocilla. Facultad de Medicina. Universidad de Cartagena

\*Autor de correspondencia:ltejedab@unicartagena.edu.co

### Resumen

En la actualidad, las actividades humanas relacionadas con el consumo de energía y minerales han generado un impacto ambiental negativo sobre los ecosistemas acuáticos, siendo la industria del níquel una de las que más impactan al medio ambiente. La fitorremediación se presenta como una tecnología muy conveniente para la estabilización de metales pesados y el mejoramiento de las condiciones del agua, ya que los contaminantes pueden ser fácilmente acumu-

lados por plantas acuáticas a través de distintas vías físicas y bioquímicas. En este estudio se evaluó la capacidad de biorremediación de dos tipos de macrófitas acuáticas: *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* al ponerse en contacto con soluciones sintéticas de sulfato de níquel a una concentración de 0.5, 1.5 y 2.5 mg/L del ion níquel. Se evaluó su efecto fitorremediador por medio del cálculo del factor de bioconcentración, el porcentaje de remoción, la cinética de la capacidad de remoción y su desarrollo físico durante el proceso. Los resultados muestran que estas especies poseen un gran potencial fitorremediador, ya que están dentro de la categoría de hiperacumuladoras puesto que su factor de bioconcentración es superior a 1000. Además, *L. minor* presentó un porcentaje de remoción de máximo del 68%, comparado con *E. crassipes* que no superó el 50% en las tres concentraciones estudiadas. Sin embargo, esta última macrófita demostró mayor resistencia a las afectaciones de níquel y obtuvo una mayor capacidad de remoción durante el proceso de fitorremediación, el cual se realizó por 10 días. Se puede concluir que las dos macrófitas se presentan como una buena alternativa para la remoción de níquel en sistema de humedales.

**Palabras clave:** Capacidad de remoción, fitorremediación, metales pesados, macrófitas hiperacumuladoras, adsorción.

## Evaluación de la capacidad de remoción de azul de metileno utilizando biochar obtenido a partir de la palma de aceite *Elaeis Guineensis*

Liset Mallarino<sup>1</sup>, María de los Ángeles Taboada<sup>1</sup>, Melissa Vargas<sup>1</sup>, Lesly Tejada-Benítez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de investigación de Diseño de Procesos y Aprovechamiento de Biomásas (IDAB). Facultad de Ingeniería. Universidad de Cartagena

\*Autor de Correspondencia: [ltejedad@unicartagena.edu.co](mailto:ltejedad@unicartagena.edu.co)

### Resumen

La industria química es una de las fuentes más importantes de contaminación del agua. Las industrias del papel, tintes, plásticos, cuero, vidrio y textil utilizan tintes en sus productos, cuyas consecuencias son la producción de aguas residuales que contienen colorantes con efectos nocivos en los ecosistemas acuáticos. El azul de metileno (MB) es un compuesto tóxico utilizado como tinte industrial. En medio de esta problemática los materiales adsorbentes resultan como una opción prometedora principalmente por su alto impacto ambiental, por la facilidad de obten-

ción y bajo costos. En el presente trabajo se evaluó la capacidad de remoción de azul de metileno utilizando biochar producido a partir de residuos de la palma de aceite *Elaeis guineensis*. El biochar fue obtenido teniendo en cuenta dos tamaños de partícula, 0,85 mm y 2,37 mm, y se caracterizaron químicamente por medio Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). Para la adsorción, se prepararon soluciones con azul de metileno, utilizando 0,3 mL por cada 200 mL de agua destilada. Se pusieron en contacto los dos biochars obtenidos por tres intervalos de tiempo, 2 h, 1,5 h y 1 h. Los resultados mostraron que el biochar que presentó una mayor capacidad de remoción fue el de tamaño de partícula de 2,37 mm, presentando una remoción del 98% del contaminante. Posteriormente, se analizó la toxicidad del efluente mediante un ensayo de mortalidad utilizando el modelo biológico *Caenorhabditis elegans* como bioindicador. El tratamiento de adsorción con el biochar que disminuyó la mortalidad de nematodos al 15%, es la muestra que contiene el biochar de 0,85 mm con un tiempo de residencia de 2 h. El análisis infrarrojo mostró la presencia de aminas, alcoholes, alcanos, alquenos y compuestos aromáticos. En conclusión, para obtener un biochar con propiedades deseables, como adsorbente, es conveniente, la utilización de un tamaño de partícula de 0,85 mm. El proceso de adsorción de azul de metileno, utilizando biochar obtenido de la palma de aceite resulta un proceso eficiente.

**Palabras claves:** Adsorción, remoción, biochar, bioindicador, palma de aceite.

## Evaluación de la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos del área industrial de Mamonal utilizando Millo (*Sorghum vulgare*)

Cristian Sanjuan<sup>1,2</sup>, Liset Mallarino<sup>1,2</sup>, Héctor Berdugo<sup>1</sup>, María Elvira Pájaro<sup>1</sup>,  
Wilson Maldonado<sup>3</sup>, Lesly Tejada-Benitez<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de investigación de Diseño De Procesos y Aprovechamiento de Biomásas.  
Facultad de Ingeniería. Universidad de Cartagena

<sup>2</sup>Grupo de investigación en ciencias Biomédicas, toxicológicas y ambientales, Campus Zaragocilla.  
Facultad de Medicina. Universidad de Cartagena

<sup>3</sup>Grupo de Química Ambiental y Computacional, Campus Zaragocilla.  
Facultad de Ciencias Farmacéuticas. Universidad de Cartagena

\*Autor de correspondencia: ltejedab@unicartagena.edu.co

### Resumen

La zona industrial de Mamonal, ubicada en la Bahía de Cartagena, como pilar del desarrollo industrial de la región del Caribe, se ha constituido a lo largo de

los años, no solo en una fuente de grandes divisas y crecimiento económico, sino también en una fuente de contaminación. De modo que los suelos de esta área están contaminados con hidrocarburos y otros compuestos orgánicos de las industrias de refinación de petróleo. Se han sugerido diferentes técnicas para reducir los efectos contaminantes de los derivados del petróleo, sin embargo, la mayoría de ellos son muy caros. La fitorremediación es un proceso que utiliza plantas y los microorganismos asociados con ellas para eliminar, transferir, estabilizar, concentrar o destruir contaminantes en el suelo. En el presente trabajo, se desarrolló y analizó el uso de la especie *Sorghum vulgare* (millo) para la remediación de muestras de suelo de tres puntos ubicados en la Zona Industrial Mamonal- Cartagena. Adicionalmente se tomó una muestra de suelo en la población de Arjona (Bolívar) para ser usada como punto de referencia. Las muestras de suelo fueron contaminadas sintéticamente con diesel a concentraciones de 1000 ppm y 6000 ppm y se realizaron ensayos de fitorremediación durante 30 días. La extracción de hidrocarburos y el análisis cromatográfico se llevaron a cabo cada 10 días durante un mes. Los resultados mostraron que para la concentración de diesel de 6000 ppm, los porcentajes de remoción para las muestras de suelo fueron 82%, 59% y 87% respectivamente. Mientras que para una concentración de diesel de 1000 ppm, los porcentajes de remoción para las muestras de suelo fueron 93%, 90% y 95% respectivamente, mientras que la atenuación natural sólo alcanzó tasas de eliminación del 40%, 48% y 49%, confirmando que la fitorremediación es un método eficaz para la remoción de hidrocarburos. Hubo translocación de hidrocarburos a otros órganos de la planta, indicando que los mecanismos involucrados en el proceso fueron tan rizodegradación como fitovolatilización. La presencia de hidrocarburos en el suelo disminuyó su porosidad y permeabilidad y la vegetación respondió a esta situación con cambios en su pigmentación, tamaño, grosor, número de hojas y grosor de los tallos. Finalmente, el *Sorgo vulgare* fue efectivo en la fitorremediación de suelos contaminados reduciendo la concentración de hidrocarburos.

**Palabras clave:** Remediación, fitorremediación, suelos, hidrocarburos, *Sorgo vulgare*.

## Fitorremediación de lixiviados jóvenes usando la macrófita *Chrysopogon zizanioides*

Francis Toscano<sup>1</sup>, Liset Mallarino-Miranda<sup>1,2</sup>, Lesly Tejeda-Benítez<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de investigación de Diseño De Procesos y Aprovechamiento de Biomosas. Facultad de Ingeniería. Universidad de Cartagena

<sup>2</sup>Grupo de investigación en ciencias Biomédicas, toxicológicas y ambientales, Campus Zaragocilla. Facultad de Medicina. Universidad de Cartagena

\*Autor de correspondencia:ltejedab@unicartagena.edu.co

### Resumen

Los lixiviados de rellenos sanitarios poseen una composición compleja, que incluye materia orgánica, nitrógeno amoniacal, metales pesados, entre otros. Sin ser tratados, podrían ser una fuente inminente de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, por lo cual se requieren estudios y avances en tecnologías sostenibles para este fin. En este trabajo de investigación se evaluó el potencial de la macrófita *Chrysopogon zizanioides* en la fitorremediación de lixiviados sintéticos con características de lixiviados jóvenes. La planta se cultivó en soluciones con concentraciones de 25%, 50%, 75% y 100% de lixiviado y se evaluó la remoción de Cadmio, Plomo, Níquel, DBO y DQO. Adicionalmente se examinaron los efectos del lixiviado en la planta y el cambio en los efectos toxicológicos de los lixiviados sin tratar y tratados usando el nemátodo *Caenorhabditis elegans* como modelo. Entre los resultados obtenidos se destaca que el crecimiento de la planta disminuyó en más del 50% para concentraciones del 25% y 100%, en comparación con el control. La remoción de DQO estuvo entre 46 y 58%, la de Cadmio entre 94 y 98%, la de Níquel entre 94 y 98% y la de Plomo entre 92 y 98%, lo cual sugiere que la planta es un modelo más adecuado para la eliminación de metales pesados que de materia orgánica en lixiviados jóvenes de vertederos. De la evaluación ecotoxicológica se obtuvo que el tratamiento realizado disminuyó la toxicidad en *Caenorhabditis elegans* del 100 al 71% con relación al lixiviado sin tratar, lo que sugiere que a pesar de que se reducen los componentes tóxicos, el lixiviado tratado no es seguro para su liberación al ambiente.

**Palabras clave:** Fitorremediación, Lixiviado, *Caenorhabditis elegans*, Metales pesados.

## Uso de biochar obtenido a partir de la pirólisis rápida de cáscaras de piña y de coco en el mejoramiento de la productividad del suelo

Paola Navarro<sup>1</sup>, Liset Mallarino<sup>2</sup>, Natalia Larios<sup>1</sup>, Sebastián Murillo<sup>1</sup>, Lesly Tejada-Benítez<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Grupo de investigación de Diseño De Procesos y Aprovechamiento de Biomásas. Facultad de Ingeniería. Universidad de Cartagena

<sup>2</sup> Grupo de investigación en ciencias Biomédicas, toxicológicas y ambientales, Campus Zaragocilla. Facultad de Medicina. Universidad de Cartagena

\*Autor de correspondencia: [ltejedad@unicartagena.edu.co](mailto:ltejedad@unicartagena.edu.co)

### Resumen

En la actualidad, el uso de residuos orgánicos en la generación de tecnologías emergentes para la solución de problemas de contaminación y cambio climático, se considera de gran interés a nivel mundial. Por otro lado, los residuos de piña y coco son abundantes en hoteles y restaurantes de la ciudad de Cartagena de Indias, debido a la actividad turística. En esta investigación, inicialmente se construyó un horno pirolítico, siguiendo un modelo que permitiera en una misma corrida realizar la pirólisis de la biomasa, generar una diferencia de presiones, logrando redirigir el calor hacia la materia prima de la pirólisis y por medio de dos orificios uniformes ubicados paralelamente al centro de los compartimientos, facilitar la liberación de energía y limitación del oxígeno. Posteriormente, se obtuvo biochar a partir de la cáscara de piña y de coco por medio de pirólisis rápida, teniendo en cuenta dos tamaños de partícula (0,212 mm y 0,355 mm) para su posterior caracterización química y física por medio de Espectrometría infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR), porcentaje de carbono fijo, densidad aparente, área superficial BET, pH, conductividad eléctrica y poder calorífico. Además, se estudió el proceso de la germinación de una semilla, la cual fue sembrada en una mezcla de los biochar obtenidos y tierra con el fin de comparar su crecimiento. Los resultados mostraron la presencia de grupos hidroxilo y carbonilo, y una fuerte afinidad con el agua. Adicionalmente, se obtuvieron características que coinciden con los rangos reportados en la literatura, como el pH alcalino, las áreas superficiales y se alcanzó un porcentaje de carbono mayor al 75%, la densidad aparente ligeramente baja, y en la conductividad se evidenciaron valores por encima de los rangos establecidos para fertilizantes, lo cual explica el bajo crecimiento (casi nulo) que presentaron algunas semillas. Finalmente, el poder calorífico bajo en comparación a la literatura descarta la posibilidad de utilizar

los biocarbones obtenidos como fuente energética, sin embargo, su utilización como absorbente puede ser una alternativa viable.

**Palabras clave:** biomasa, biochar, suelo, cáscaras, piña, coco, caracterización, rendimiento, carbono, pH, conductividad.

## Adsorción del herbicida atrazina en fuentes hídricas mediante perlas de quitosano modificadas con nanopartículas de óxido de cobre y magnetita

*Gezira De Avila Montiel<sup>1</sup>\*, Camilo Rodríguez<sup>1</sup>, Roiver Lagares<sup>1</sup>, Yomaris Hernández<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación de Diseño de Procesos y Aprovechamiento de Biomásas (IDAB), Programa De Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado, calle 30 No. 39 B – 192, Cartagena de Indias, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [gdeavilam@unicartagena.edu.co](mailto:gdeavilam@unicartagena.edu.co)

### Resumen

El crecimiento y urbanización constante de la población humana, ha conducido a un amplio avance en los procesos de transformación de los recursos naturales, como lo son las prácticas agrícolas modernas, las cuales, han surgido como respuestas para cubrir las diferentes necesidades del ser humano. El problema radica en que la mayoría de estas operaciones no tienen un ciclo cerrado, por tanto la descarga de varias sustancias presentan un efecto de contaminación en los ecosistemas. Una de las problemáticas más frecuentes es la contaminación por herbicidas, ya que su uso descontrolado en el control de malezas y su baja degradación, cuando se expone al medio ambiente, ha formado zonas acuíferas con impactos ambientales significativos. Por tanto, el objetivo de esta investigación fue la adsorción del herbicida atrazina en fuentes hídricas mediante perlas de quitosano modificadas con nanopartículas de CuO y magnetita. Se realizó la síntesis de perlas de quitosano modificadas aplicando el método de coprecipitación para la síntesis de magnetita y de reducción química para las nanopartículas de CuO, las cuales fueron caracterizadas mediante Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR), para la identificación de los grupos funcionales, y SEM -EDS para el análisis de la estructura morfológica y la distribución de elementos en la superficie de las perlas. Las perlas fueron colocadas en contacto con diferentes concentraciones de atrazina (5, 10, 15, 20, 25 mg/L) a diferentes temperaturas de operación (25, 35, 45 °C), utilizando un sistema Batch. Se eva-

luó el efecto de estas dos variables sobre el porcentaje de adsorción de atrazina, teniendo en cuenta los modelos de Langmuir y Freundlich. Se determinó la concentración de atrazina en solución acuosa mediante un Espectrofotómetro (UV-Vis). El porcentaje máximo de remoción de atrazina a una concentración de 5 mg/L y temperatura de 45°C, con perlas de quitosano modificadas con magnetita fue de 82.44%, para las perlas de quitosano modificadas con CuO de 74.52% y para las perlas de quitosano sin modificar de 76.18%, respectivamente. Esto demostró que el aumento de temperatura y la baja concentración inicial favorecen la adsorción de atrazina con perlas de quitosano modificadas con magnetita. El modelo cinético que más se ajustó fue el modelo de Pseudo-segundo orden para las diferentes perlas estudiadas, mientras que la isoterma de Langmuir describió mejor el proceso de adsorción.

**Palabras clave:** Adsorción, atrazina, magnetita, nanopartículas de cobre, quitosano.

## Efecto de extracción de aceites de borra de café, en la obtención de carbones activados, para adsorción de verde malaquita

*Jessica Contreras<sup>1\*</sup>, Angee Rodríguez<sup>1</sup>, Andrés Suárez<sup>1</sup>, Laura Conde<sup>1</sup>*

Grupo de Investigación en Ingeniería de Procesos y Sistemas Industriales, Ingeniería Química, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Carrera 4 # 22 – 61 Bogotá D.C., Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [jessican.contrerasp@utadeo.edu.co](mailto:jessican.contrerasp@utadeo.edu.co)

### Resumen

La industria textil es una fuente importante de contaminación a nivel mundial, ya que por lo menos un 15% de los colorantes empleados en el proceso quedan como residuo en aguas; el verde malaquita es un colorante muy utilizado en la industria textil, que despierta interés dada su alta toxicidad en mamíferos y seres humanos, generando efectos mutagénicos, carcinogénicos y afecciones respiratorias, además, persiste aproximadamente durante 80 días en agua. La adsorción con carbones activados es ampliamente utilizada en el tratamiento de aguas, gracias a que permite remover de manera eficiente contaminantes de alta toxicidad presentes en concentraciones relativamente bajas, además diversos residuos lignocelulósicos pueden emplearse como precursores de carbones activados. Colombia es un productor reconocido de café, pero también un gran

consumidor de este producto, siendo el tercero en América Latina con 108 toneladas anuales, generando aproximadamente 11,2 toneladas de borra de café al año. Este residuo contiene cerca de 15 % de aceite, producto de alto valor comercial, que se puede remover mediante extracción con solventes entre otras tecnologías; hasta el momento no se ha establecido si la extracción previa del aceite afecta las cualidades adsorbentes del carbón activado derivado de borra de café, en consecuencia, este trabajo compara el desempeño del carbón activado obtenido a partir de borra de café original y tratada previamente con isopropanol, en la remoción de verde malaquita; los carbones activados se obtuvieron por impregnación química con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  al 0,6%, durante 18 h, a una proporción de 1,25 g  $\text{H}_3\text{PO}_4$  por 100 g de borra, y pirólisis a 500°C. Estos materiales se caracterizaron mediante análisis próximo, espectro infrarrojo con transformada de Fourier, pH del punto de carga cero e índice de yodo. La evaluación del desempeño en la remoción de verde malaquita se realizó mediante ensayos cinéticos a pH 4, temperatura de 25°C y agitación constante, ajustando modelos de pseudo primer y pseudo segundo orden, encontrando mejor ajuste con el modelo de pseudo segundo orden. Este trabajo permite evidenciar que la extracción previa del aceite de la borra de café con isopropanol, favorece la capacidad de adsorción del carbón activado, presentando una remoción del  $84,46\% \pm 1,02\%$  con el carbón activado obtenido con borra pretratada, mientras que con el carbón activado derivado de la borra original se alcanza una remoción del  $79,97\% \pm 1,297\%$ .

**Palabras clave:** adsorción, remoción, carbón activado, borra de café, verde malaquita.

## Evaluación de las características del biochar obtenido mediante la pirólisis de la cascarilla de arroz (*Oryza Sativa*) a baja temperatura

Mario Alvear Alayon<sup>1</sup>, Jesús Guerra<sup>1</sup>, Jalelys Leones<sup>1</sup>, Lesly Tejeda-Benítez<sup>2\*</sup>, Liset Mallarino<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de investigación de Diseño De Procesos y Aprovechamiento de Biomásas.

Facultad de Ingeniería. Universidad de Cartagena

<sup>2</sup>Grupo de investigación en ciencias Biomédicas, toxicológicas y ambientales, Campus Zaragocilla.

Facultad de Medicina. Universidad de Cartagena

\*Autor de Correspondencia: ltejedab@unicartagena.edu.co

### Resumen

La gran cantidad de desechos generados por la producción agroindustrial masiva, que de manera inadecuada significa contaminar el medio ambiente, es uno de los mayores problemas que enfrenta la sociedad actual. En medio de la problemática anterior, se investigaron las formas de uso de las biomásas, ya sea como adsorbentes o como combustible debido a su bajo costo, fácil obtención e implementación. El presente trabajo evaluará las características del biochar obtenido a través de la pirólisis de la cáscara de arroz a baja temperatura. Se variaron el tamaño de partícula y el tiempo de pirólisis de la biomasa. Se determinó el rendimiento, porcentaje de carbono, grupos funcionales y área de superficie. El rendimiento del biochar se obtuvo entre 30.85 y 41.78%, obteniendo los mejores resultados para el tamaño de partícula de 0.355 mm y el tiempo de pirólisis de 12 h teniendo en cuenta el análisis de área de superficie, mientras que el mayor porcentaje de carbono fue del 26, 66%. En cuanto a los grupos funcionales presentes en la estructura del biochar se encontraron algunos como: alcanos, ácidos carboxílicos, alcoholes, haluros de alquilo y cetonas, los cuales le dan características de adsorbente al material y la capacidad de interactuar con distintos contaminantes en medios acuosos y en los suelos.

Es así como la cascarilla de arroz es una biomasa que tiene alto rendimiento la hora de obtener biochar y un porcentaje aceptable de carbono, ya sea para ser utilizado como adsorbente o como combustible gracias su amplio aprovechamiento y producción.

**Palabras claves:** Cascarilla de arroz, Pirólisis, Biochar, Características, Capacidad.

## Caracterización de la microbasura en una playa de la ciudad de Cartagena de Indias

*Paola Navarro<sup>1</sup>, Gina Lezama<sup>1</sup>, Liset Mallarino<sup>1,2</sup>, Lesly Tejeda-Benítez<sup>1,2\*</sup>, Carlos Castellon<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de investigación de Diseño De Procesos y Aprovechamiento de Biomásas. Facultad de Ingeniería. Universidad de Cartagena

<sup>2</sup>Grupo de investigación en ciencias Biomédicas, toxicológicas y ambientales, Campus Zaragocilla. Facultad de Medicina. Universidad de Cartagena

\*Autor de Correspondencia: [ltejedab@unicartagena.edu.co](mailto:ltejedab@unicartagena.edu.co)

### Resumen

Los estudios de residuos sólidos en la playa representan una herramienta fundamental para controlar la contaminación de la basura en el medio marino y se han utilizado en todo el mundo para cuantificar las cantidades de residuos sólidos depositados en la costa y detectar sus fuentes. Dentro de estos residuos, se destaca la microbasura, o basura de tamaño inferior a 1 cm, que no es removida de las playas, y está conformada principalmente por plásticos como tapas, pellets, envolturas de alimentos, y de otros residuos como las colillas de cigarrillos. Por su tamaño menor representan un potencial riesgo de contaminación acuática y de peligro para la biota marina. Este estudio investigó la abundancia, composición y fuentes de microbasura en las playas de Marbella en Cartagena de Indias, en un área de 536 m<sup>2</sup>. Los residuos fueron recolectados manualmente después del domingo, que es un día con alta afluencia de bañistas y una hora después de la recolección de basuras, con el fin de enfatizar en la microbasura. Posteriormente los residuos fueron lavados para eliminar los restos de arena. Finalmente fueron clasificados, contados y pesados por fracción. Para evaluar la limpieza de la playa, se usó el Clean Coast Index (CCI) que relaciona el número de ítems entre el área de muestreo y permite evaluar un sitio en cinco clases diferentes que van desde "muy limpio" hasta "extremadamente sucio" y el Environmental Status (ES) que proporciona un indicador que traduce la calidad de las playas en términos de daños indirectos y directos a la salud de los organismos marinos. El residuo más abundante en cantidad fue el poliestireno expandido y en peso las tapas plásticas. La principal fuente de residuos en las playas de Marbella proviene de los alimentos y bebidas ingeridos por los bañistas en las playas. Otros residuos encontrados que aumentan el riesgo toxicológico para la flora y fauna marina son los microplásticos primarios provenientes de las productoras y procesadoras

de polímeros en la Zona Industrial de Mamonal que llegan a las playas por la dinámica de las costas y las colillas de cigarrillos arrojadas por los bañistas. El CCI obtenido para esta playa fue de 26, sugiriendo muy alta contaminación. Sin embargo, el ES obtenido fue de 1, el cual clasifica la playa como limpia. La diferencia entre estos dos indicadores radica en que el primero incluye el número de ítems, sin importar su peso ni peligrosidad al ambiente, mientras que el segundo incluye el peso, pero el residuo más abundante y uno de los más tóxicos que es el poliestireno expandido, es también uno de los más ligeros en peso, aumentando el valor del CCI, pero disminuyendo el valor del indicador ES. En conclusión, los residuos encontrados en las playas de Marbella son un riesgo para la biota acuática, por lo tanto, es urgente la implementación de políticas públicas que reduzcan el uso del poliestireno expandido y plásticos de un solo uso en las playas.

**Palabras claves:** Contaminación, playas, residuos sólidos, microbasura, plásticos.

## Comparativo de dos metodologías para el estudio de la cinética de digestión con ácido nítrico de roca fosfórica

*Mario Alvear Alayon<sup>1</sup>, María Alejandra Baia<sup>1</sup>, Keiry Alejandra Pacheco<sup>1</sup>, Lesly Tejeda-Benítez<sup>1,2\*</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de investigación de Diseño De Procesos y Aprovechamiento de Biomásas. Facultad de Ingeniería. Universidad de Cartagena

<sup>2</sup>Grupo de investigación en ciencias Biomédicas, toxicológicas y ambientales, Campus Zaragocilla. Facultad de Medicina. Universidad de Cartagena

\*Autor de Correspondencia: [ltejedad@unicartagena.edu.co](mailto:ltejedad@unicartagena.edu.co)

### Resumen

Cerca del 90% de la producción mundial de roca fosfórica es utilizada por la industria para la elaboración de fertilizantes fosforados. En muchos lugares del mundo la roca fosfórica es aplicada directamente para fertilización de suelos. Sin embargo, su solubilidad es muy baja ( $<0.001\text{g/L}$ ) en la solución del suelo, por lo tanto, no puede ser absorbida por la planta, de ahí que muchos investigadores han intentado mejorar la solubilidad de la roca fosfórica mezclándola con varios materiales orgánicos e inorgánicos antes de la aplicación al suelo, entre estos es usado el ácido nítrico. La cinética de disolución está siendo ampliamente estudiada con el fin de buscar altas y rápidas conversiones de  $\text{P}_2\text{O}_5$  disponible.

Para el estudio de la cinética de disolución de la roca fosfórica existen diversas metodologías que permiten medir el fósforo aun presente luego de transcurrido un tiempo de reacción, como por ejemplo el método de ácido vanadomolibdo-fosfórico, el cual resulta costoso para el número de ensayos requeridos para un estudio cinético. Otros métodos como el de filtración directa de roca fosfórica no disuelta suelen requerir mucho tiempo y tener márgenes de error grandes si no se tienen completamente controladas las variables. Como consecuencia la presente investigación comparó dos metodologías para la toma de datos cinéticos en esta reacción: la conductimétrica y la de filtración de roca no disuelta. Se realizó la validación del uso de la metodología conductimétrica verificando que las pendientes de la correlación  $\ln(K_d) = a \ln(C) + \beta$  (proveniente del modelo cinético *Shrinking Core*) calculadas mediante el método de filtración y conductimetría tuviesen un coeficiente de variación inferior a 0,1. Para este propósito se prepararon 5 soluciones de reactantes a concentraciones de entre 0.05 y 2.5 M (para conductimetría) y, 3 y 11 M (para filtración), con condiciones de temperatura ambiente (28°C) para reaccionar con 1 gramo de roca fosfórica con tamaño de partícula <250µm. Finalmente se obtuvo un coeficiente de variación de 0.07 entre las constantes cinéticas obtenidas por las dos metodologías, por lo que se concluyó que es confiable usar la metodología conductimétrica para hacer seguimiento a la digestión de roca fosfórica con ácido nítrico.

**Palabras clave:** Cinética, Digestión, Conductimetría, Filtración, Roca fosfórica, ácido nítrico.

## Aprovechamiento de cáscaras de ñame y fibrilla de palma aceitera para tratamiento de aguas contaminadas con iones metálicos

Nórida Pájaro Gómez<sup>1</sup>, Angel Villabona Ortíz<sup>1</sup>, Candelaria Tejada Tovar<sup>1\*</sup>, Andrés Negrete Palacio<sup>1</sup>,  
Ronald Tejada Tovar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Diseño de procesos y Aprovechamiento de Biomásas- IDAB, Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado, calle 30 No. 39 B – 192

<sup>2</sup>Ingeniero de Alimentos, Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Docente Universidad del Atlántico, Programa de Nutrición.

\*Autor de Correspondencia: [ctejadat@unicartagena.edu.co](mailto:ctejadat@unicartagena.edu.co)

### Resumen

La movilización de los metales pesados en el medio ambiente debido a actividades industriales es motivo de gran preocupación por la toxicidad de estos metales y su resistencia a la biodegradación. El Cromo (VI) y Cadmio (II) son vertidos en cuantiosos efluentes industriales debido a su amplio uso en diferentes actividades industriales, como galvanizado, petroquímica, minería, curtiembres, soldadura, uso de baterías, entre otros. Así, el objetivo de esta investigación fue eliminar mediante bioadsorción iones Cromo (VI) y Cadmio (II) presentes en solución acuosa, en sistema por lotes, usando cáscaras de ñame y fibrilla de palma aceitera evaluando el efecto de la temperatura, dosis de adsorbente y el diámetro del adsorbente. Se encontró que el aumento temperatura afectó positiva y proporcionalmente la capacidad de adsorción de los dos metales, el Cr(VI) tuvo mayor remoción al tamaño intermedio mientras el Cd(II) al mayor tamaño evaluado, y que el uso de mayor cantidad de adsorbente favorece el proceso de adsorción. Del estudio cinético se estableció que el modelo de Elovich ajusta mejor los datos experimentales de adsorción de los dos metales con los dos biosorbentes evaluados, y el estudio de equilibrio de adsorción muestra que los datos se ajustan mejor al modelo de Langmuir. Se alcanzó una capacidad máxima de remoción de Cadmio de 123 mg/g usando cáscara de ñame como adsorbente, mientras que para el Cr(VI) ambas biomásas lograron remover 66.7 mg/g usando bagazo de palma y cáscara de ñame.

**Palabras clave:** Adsorción, Cadmio (II), Cromo (VI).

## Diseño, construcción y calibración de un reactor de electrólisis de onda corta para la remoción de detergentes

Angel Villabona Ortíz<sup>1</sup>, Candelaria Tejada Tovar<sup>1\*</sup>, Lenis de la Rosa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Diseño de procesos y Aprovechamiento de Biomásas- IDAB, Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado, calle 30 No. 39 B – 192

\*Autor de Correspondencia: [ctejudat@unicartagena.edu.co](mailto:ctejudat@unicartagena.edu.co)

### Resumen

La contaminación del agua es una dificultad que enfrenta la sociedad actual, la mayor preocupación es la presencia de contaminantes emergentes en mayores concentraciones, en los productos orgánicos e inorgánicos, procedentes de la agricultura, fuentes urbanas e industrial. Los surfactantes o tensioactivos, son descargados en aguas residuales por el uso de detergentes y agentes espumantes; estos son resistentes a la biodegradación, intervienen en el proceso de eutrofización del agua y aumentan la solubilidad de compuestos orgánicos tóxicos. En la búsqueda de soluciones se han comenzado a emplear técnicas de tratamiento que habían sido ignoradas anteriormente, una de ellas es la electrocoagulación, la cual usa la electricidad para generar agentes coagulantes, su fácil instalación y simplicidad de manejo la hacen un método atractivo para tratar agua. Se construyó una celda de electrocoagulación de tipo batch y se evaluó su capacidad de remover surfactantes. Se construyó una celda de electrocoagulación de vidrio con electrodos sostenidos por una estructura de PVC; las muestras de agua se caracterizaron por U-Vis antes y después de ser tratada. Se probaron electrodos de Fe y Al obteniendo porcentajes de remoción superiores al 65%. Se concluye que la electrocoagulación presenta una buena tasa de remoción, siendo el uso de electrodos de aluminio y distancias de 1.5cm la mejor configuración, si se complementa con otros métodos de tratamiento como la filtración, se puede aplicar a plantas de tratamiento de empresas y comercios y reducir su impacto ambiental

**Palabras clave:** electrocoagulación, contaminantes emergentes, surfactantes, LAS.

## Evaluación de residuos agroindustriales en el tratamiento de aguas contaminadas con cadmio ( $\text{Cd}^{+2}$ )

*Candelaria Tejada Tovar<sup>1\*</sup>, Angel Villabona Ortíz<sup>1</sup>, José López Genes*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Diseño de procesos y Aprovechamiento de Biomosas- IDAB, Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado, calle 30 No. 39 B – 192

\*Autor de Correspondencia: [ctejadat@unicartagena.edu.co](mailto:ctejadat@unicartagena.edu.co)

### Resumen

La contaminación de los cuerpos de agua producto de las actividades humanas ha incrementado, constituyendo un peligro para la salud, especialmente por la presencia de metales pesados, en particular el cadmio ( $\text{Cd}^{+2}$ ), el cual cuenta con múltiples aplicaciones industriales en la galvanización, plásticos, pigmentos, en baterías, entre otros; además, es un metal tóxico, acumulable en los seres vivos y su ingestión en pequeñas concentraciones puede producir desde irritación del estómago hasta enfermedades como el cáncer. En este trabajo se evaluaron la cascara de cacao y de yuca como material biosorbente en la remoción de  $\text{Cd}^{+2}$  presente en solución acuosa, a través de experimentos realizados en modo discontinuo o Batch. A través de un diseño experimental de tipo central compuesto se pudo analizar los efectos de las variables de temperatura, dosis de adsorbentes y tamaño de la partícula. Los resultados obtenidos permitieron determinar que las biomosas poseen una capacidad de adsorción  $\text{Cd}^{+2}$  de 33,311 mg/g para el caso de la cascara de cacao y 29,87 mg/g para la cascara de yuca. Para determinar el equilibrio del proceso de biosorción, se encontró que el modelo de Isotherma que más se ajusta es el propuesto por Langmuir con un coeficiente de correlación de 0,9564 y 0,9785, para las cascara de cacao y de yuca respectivamente. El análisis del comportamiento cinético evidencia que el proceso alcanza el estado estable en un periodo de tiempo aproximado de 10 minutos.

**Palabras clave:** Adsorción, biosorbentes, residuos de cacao, residuos de yuca.

## Remoción de Pb(II) mediante el bagazo de caña de azúcar (*Sccharum officinarum*) en una solución acuosa

Candelaria Tejada Tovar<sup>1\*</sup>, Humberto Bonilla Mancilla<sup>2</sup>, Jenny del Pino<sup>3</sup>,  
Angel Villabona Ortíz<sup>1</sup>, Nórdida Pájaro Gómez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Diseño de procesos y Aprovechamiento de Biomosas- IDAB, Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado, calle 30 No. 39 B – 192

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad Nacional del Centro del Perú, Mariscal Castilla 3909, Huancayo, Perú, 12006

\*Autor de Correspondencia: [ctejadat@unicartagena.edu.co](mailto:ctejadat@unicartagena.edu.co)

### Resumen

La descarga de los efluentes industriales y domésticas a los flujos de agua y en los suelos se han convertido en un problema ambiental grave, contaminando el ambiente con metales pesados considerados como tóxicos y cancerígenos, siendo uno de ellos es el plomo (II). Como medidas correctivas se han usado tecnologías convencionales como la precipitación química, la oxidación, el intercambio iónico, entre otras; todas ellas con un alto costo y poco eficientes. En este contexto, se experimentó la operación unitaria de adsorción para remoción de plomo (II), de una solución acuosa usando biomasa, bagazo de caña de azúcar. Se realizó una comparación entre tres diferentes pesos de biomasa, con el fin de determinar el mayor porcentaje de remoción de Pb(II) de una solución sintética. Se determinó que a un peso de 1.5 g de biomasa se tuvo un 99.7% de remoción. Se analizaron los modelos matemáticos para describir la cinética de adsorción de Pb (II), siendo la ecuación cinética de mayor ajuste el modelo de Pseudo primer orden; por otro lado, el modelo de isoterma adsorción que se describió mejor a los resultados obtenidos fue el propuesto por Langmuir. A manera de conclusión El bagazo de caña de azúcar contiene los grupos funcionales como hidroxilo, carbonilo aminas, entre otros, con morfología ideal para adsorción, alcanzándose una remoción máxima del 99.7% y una capacidad de adsorción 4.0 mg/g a las condiciones de trabajo.

**Palabras clave:** Adsorción, biomasa, Freundlich, Langmuir.

## Evaluación cuantitativa de fármacos de interés por UV

Laura A. Bueno M<sup>1\*</sup>, Daniela Parra<sup>1</sup>, Andrés F. Suárez<sup>1</sup>, Laura R. Conde<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Ingeniería de Procesos y Sistemas Industriales, Departamento de Ingeniería, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Carrera 4 # 22 – 61, Bogotá D.C. Colombia

\*Autor de Correspondencia: [lauraa.buenom@utadeo.edu.co](mailto:lauraa.buenom@utadeo.edu.co)

### Resumen

Los fármacos son sustancias químicas de alto consumo que al interactuar con un organismo vivo dan lugar a una respuesta biológica medible, estas sustancias se emplean para la prevención, el diagnóstico y el tratamiento de diferentes enfermedades. Dentro de los fármacos más empleados a nivel nacional se encuentran el ibuprofeno y la amoxicilina; otro fármaco de uso frecuente es el naproxeno. Estas moléculas se asimilan parcialmente en el organismo y una proporción considerable queda como residuo en las aguas de desecho, en consecuencia, se catalogan en la actualidad como contaminantes emergentes, reportándose descargas al agua de 500 ton de analgésicos por año en países como: España, Italia, Alemania, Grecia, Francia, Brasil y Canadá; a nivel nacional se registran cantidades de Ibuprofeno y Naproxeno del orden de 0,031  $\mu\text{g/L}$  y 0,053  $\mu\text{g/L}$  respectivamente en muestras de agua potable. Dada la importancia del control del contenido del agente activo en el medicamento, así como la creciente preocupación por los efectos de su presencia en el ambiente, es de interés poder establecer su contenido en agua mediante métodos analíticos confiables y económicos. Si bien existen diversos métodos que permiten realizar la identificación y cuantificación de medicamentos como lo son: cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), espectrofotometría de masas (MS), ionización por electrospray (ESI), cromatografía líquida de ultra alto rendimiento con espectrometría de masas (UHPLC / Q- TOF-MS), entre otros, todos ellos son de costo elevado. En consecuencia y aprovechando el hecho que los compuestos de interés presentan espectro UV, el presente trabajo desarrolla una metodología de extracción y propone un protocolo para cuantificación en agua de Ibuprofeno, Naproxeno y Amoxicilina mediante espectrofotometría UV. Se realizó la extracción sólido-líquido del componente activo de los diferentes fármacos para eliminar los excipientes presentes en los medicamentos comerciales, empleando como solvente etanol al 96%; los sólidos extraídos se caracterizaron mediante la determinación del espectro infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR), que se comparó con los espectros

reportados en bases de datos para cada componente activo. Finalmente se solubilizan los componentes activos en agua y se determinó la absorbancia por espectrometría UV a soluciones de distinta concentración, para elaborar curvas de calibración, logrando coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de 0,99 con los diferentes agentes activos.

**Palabras clave:** Ibuprofeno, Naproxeno, Amoxicilina, espectrofotometría UV, cuantificación en agua.

## Producción de ácidos grasos volátiles a partir de lodo primario de pta variando parámetros operacionales

*José Andrés Segura Flórez<sup>1</sup>, Alejandro Saenz Castaño<sup>1</sup>, Paola Andrea Acevedo Pabón<sup>1,2</sup>, Jeniffer Paola Gracia Rojas<sup>2,3\*</sup> Iván Orlando Cabeza Rojas<sup>1,4</sup>*

<sup>1</sup>Universidad Santo Tomás, Facultad de ingeniería Ambiental, Carrera 9 No. 51-11, Bogotá, Colombia

<sup>2</sup>Grupo de Investigación INGENIO INDUSPYMES, Facultad de ingeniería industrial, Universidad Cooperativa de Colombia, Avenida Caracas 37-63, Bogotá, Colombia

<sup>3</sup>Grupo de Investigación GILRA, Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", Carrera 7 No. 40B-53, Bogotá, Colombia

<sup>4</sup>Grupo de Investigación FICB-PG, Facultad de Ingeniería, Politécnico Grancolombiano Calle 57 No. 3-00 Este, Bogotá, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [jpgarcia@correo.udistrital.edu.co](mailto:jpgarcia@correo.udistrital.edu.co)

### Resumen

El aumento poblacional y las actividades antropogénicas han traído como consecuencia graves problemas ambientales, tales como, el incremento en el consumo de recursos naturales renovables, la generación descontrolada de residuos sólidos, el alto consumo de agua y la producción de vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales, entre otros. Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) procesan grandes caudales lo cual genera considerables volúmenes de lodos primarios y activados, que necesitan ser estabilizados para poder ser dispuestos adecuadamente. A partir de dichos lodos, se causan los ácidos grasos volátiles (AGVs), que son ácidos producidos en la etapa de acidogénesis, además tienen un gran valor económico y adicionalmente pueden llegar actuar como fuente de carbono para la producción de Polihidroxialcanoatos (PHA's). El presente trabajo evalúa el efecto de variables como temperatura (25° C y 35° C), pH (9.5, 10.5 y 11.5) y carga orgánica inicial (10 gSV/l), en el rendimiento de la producción AGV's, a partir del lodo primario de una PTAR como sustrato.

Los principales resultados de este estudio demostraron que los mejores rendimientos en la producción de AGV's se dieron a 35°C, pH de 10.5 en el día 12 de retención, con 3496 mg DQO/L. Por otra parte, la fermentación cetogénica se presenta casi inmediatamente después de la conformación del reactor, así mismo, la gran mayoría de reactores presentan un aumento progresivo de la producción de AGV's con el paso del tiempo, siendo los de mayor producción aquellas muestras con tiempo de retención de 12 días. Por último, cabe señalar que la valorización de residuos es un tema cada día más investigado y presenta un amplio panorama para que este estudio sea escalado a un nivel industrial generando beneficios económicos y productos académicos a lo largo de su operación.

**Palabras clave:** Ácidos Grasos Volátiles, Lodo Primario, Fermentación Anaeróbica, pH, Temperatura.

## Desarrollo de nanoadsorbentes para la adsorción de asfaltenos a partir de residuos mineros

*Santiago Torres, Hugo Galindo<sup>1\*</sup>, Adriana Suárez<sup>1</sup>, Ferley Castillo<sup>1</sup>, Juan Wilches<sup>1</sup>, David Martín<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, Carrera 30 No. 45-03 Edificio 453

\*Autor de Correspondencia: [hmgalindov@unal.edu.co](mailto:hmgalindov@unal.edu.co)

### Resumen

Los asfaltenos son los compuestos que conforman la parte más pesada del petróleo y pueden dificultar el procesamiento del crudo. Su capacidad de aglomerarse y formar diferentes agregados puede generar precipitados que afectan la humectabilidad del medio durante la extracción del crudo o que pueden obstaculizar el flujo en las tuberías o en el almacenamiento. En los últimos años, se ha estudiado como se ven afectadas las propiedades de diversos sólidos inorgánicos y metales (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, entre otros) cuando se adsorben asfaltenos. Sin embargo, no se ha estudiado el efecto que tiene la síntesis por medio de microondas en la adsorción de asfaltenos. Por lo anterior, se busca evaluar la capacidad de adsorción de asfaltenos que tienen los nanoadsorbentes sintetizados en microondas a partir de residuos mineros. De esta forma, se pueden utilizar residuos para estabilizar el crudo y facilitar su explotación, transporte y almacenamiento.

Para lograrlo, se sintetizaron nanopartículas de aluminosilicatos en microondas a partir de los residuos mencionados, se caracterizaron con difracción de rayos X (y otras técnicas instrumentales) y se suspendieron en soluciones de asfaltenos en tolueno (con diferente concentración) durante 15 horas, en agitación continua. Luego, se midió la concentración por medio de espectrofotometría de UV-visible. Los resultados muestran que los aluminosilicatos obtenidos son amorfos y que tienen gran capacidad de adsorción (alrededor de 280 mg adsorbidos/g de sólido) comparados con los reportados en la literatura (alrededor de 100 mg/g a la misma concentración). También se observó que los nanomateriales obtenidos se dispersan fácilmente en la solución y, una vez han adsorbido, precipitan rápidamente.

A partir de estos resultados, se concluye que la síntesis por medio de microondas genera nanopartículas con mayor capacidad de adsorción, comparada con otros procesos. Esto se debe a que se aumenta la dispersabilidad y el área superficial de las nanopartículas.

**Palabras clave:** Asfaltenos, adsorción, nanopartículas, microondas.

## Estudio de la remoción de Cromo VI en solución de agua sintética usando carbones activados como adsorbentes

*Aldair Tovar<sup>1</sup>, Jacqueline Corredor<sup>\*</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Ing. química, Universidad de Pamplona, Km 1 vía a Bucaramanga

<sup>\*</sup>Autor de Correspondencia: [jacquelinecorredor@yahoo.com](mailto:jacquelinecorredor@yahoo.com)

### Resumen

Debido a causas antropogénicas y naturales, el ambiente es contaminado con diferentes metales pesados como níquel, cromo, plomo, cobre, zinc y mercurio (Guo, Sun, Li, Liu, & Ji, 2009), (Qin et al., 2016), (Campo, Domingo, Raúl, Amanda L, & Alba, 2013), (Zhang, Luo, Lin, & Huang, 2016). Estos metales causan cánceres del tracto respiratorio, de pulmones y de estómago, dermatitis y otras afectaciones (Biswas, Karn, Balasubramanian, & Kale, 2017). En la reducción de Cr se han implementado diferentes estrategias, las más comunes son bio-lixiviación (Ma et al., 2017), electrocoagulación (El-Taweel, Nassef, Elkheriany, & Sayed, 2015) y adsorción (Bhatt, Sreedhar, & Padmaja, 2015). Por tanto, se recolectaron residuos de

conos de *pinus radiata* para previamente molidos, activarlos con ácido fosfórico y funcionalizarlos con celulosa.

Se evaluaron dos muestras, carbón activado (CA) y carbón activado funcionalizado (CAF) en la eliminación de cromo, ya que éste es adsorbido mediante fisisorción y quimisorción en las estructuras porosas propuestas. Éstas se caracterizaron mediante isotermas de adsorción, la determinación del punto de carga zero (pHpcc) y la cuantificación de los sitios ácidos y básicos. Antes de los contactos y terminados éstos, se determinó el espectro de la espectroscopia de UV/VIS de los adsorbentes. El pHpcc de las muestras fue de pH=2,5, los sitios ácidos > sitios básicos y el área adsorbente fue de 1025 m<sup>2</sup> / g en el CA y 1200m<sup>2</sup> /g en el CAF. En los ensayos de remoción se evaluaron un pH ácido y uno básico, dos concentraciones de Cr VI (50ppm y 200 ppm), la temperatura de 30°C y tiempo de contacto de 1h con agitación a 150 rpm. Se demostró, la eficiencia adsorbente de los CA (87-93%), mayor remoción en pH ácido, y que a mayor concentración de Cr mayor capacidad de adsorción (mg Cr/g CA).

**Palabras clave:** Adsorción, isoterma, pH, punto de carga zero.

## Referencias

- Bhatt, R., Sreedhar, B., & Padmaja, P. (2015). Adsorption of chromium from aqueous solutions using crosslinked chitosan-diethylenetriaminepentaacetic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 74, 458–466. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.12.041>
- Biswas, P., Karn, A. K., Balasubramanian, P., & Kale, P. G. (2017). Biosensor for detection of dissolved chromium in potable water: A review. *Biosensors and Bioelectronics*, 94(November 2016), 589–604. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2017.03.043>
- Campo, R., Domingo, A., Raúl, R. M., Amanda L, C. G., & Alba, R. P. (2013). Estudio Isotérmico de Biosorción de Níquel en soluciones acuosas sintéticas utilizando biomasa seca del alga *Chlorella sp*, 1111(22), 17–2817.
- El-Taweel, Y. A., Nassef, E. M., Elkheriany, I., & Sayed, D. (2015). Removal of Cr(VI) ions from waste water by electrocoagulation using iron electrode. *Egyptian Journal of Petroleum*, 24(2), 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.05.011>

- Guo, L., Sun, C. mei, Li, G. ying, Liu, C. ping, & Ji, C. nuan. (2009). Thermodynamics and kinetics of Zn(II) adsorption on crosslinked starch phosphates. *Journal of Hazardous Materials*, 161(1), 510–515. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.003>
- Ma, H., Zhou, J., Hua, L., Cheng, F., Zhou, L., & Qiao, X. (2017). Chromium recovery from tannery sludge by bioleaching and its reuse in tanning process. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2752–2760. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.193>
- Qin, N., Zhang, Y., Zhou, H., Geng, Z., Liu, G., Zhang, Y., ... Wang, G. (2016). Enhanced removal of trace Cr(VI) from neutral and alkaline aqueous solution by FeCo bimetallic nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 472, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2016.03.025>
- Zhang, Y., Luo, X., Lin, X., & Huang, S. (2016). A Sorbent Based on Liquor Distillers' Grains for the Removal of Pb(II) and Cr(III) from Aqueous Solution. *Procedia Environmental Sciences*, 31, 785–794. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.02.074>

## Revisión de las propiedades mecánicas de las mezclas de cascarilla de arroz con residuos poliméricos para la identificación de usos

David Orjuela Yepes<sup>1</sup>, Johanna Karina Solano Meza<sup>1</sup>, David Andrés Munar Segura<sup>1</sup>,  
Ana Paola Becerra Quiroz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Sede Principal.  
Grupo de Investigación INAM-USTA

### Resumen

Los residuos agroindustriales representan un porcentaje significativo en la generación de residuos sólidos y generan graves problemas ambientales y elevados costos de disposición final para la agroindustria, debido al gran su volumen de generación y a las limitadas opciones de aprovechamiento y disposición disponibles, por lo tanto se han desarrollado investigaciones que buscan incorporar este tipo de residuos al ciclo productivo a través de procesos de reciclaje que permitan obtener materias primas con este tipo de residuos, que puedan ser utilizadas en múltiples usos. La cascarilla de arroz es uno de los residuos agroindustriales que se genera en mayor volumen, debido a la alta producción de arroz a nivel mundial, tan solo para el año 2017 La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO estimó que la producción mundial de arroz ascendió a 751,9 millones de toneladas y para Colombia la estimación de la FAO fue de 2,6 millones de toneladas, lo cual termina generando una gran cantidad de cascarilla de arroz, residuos que terminan quemándose a cielo abierto o dis-

puestos en rellenos sanitarios o ecosistemas, generando graves problemas de contaminación debido a su baja degradabilidad. En cuanto a los residuos sólidos plásticos, estos representan una problemática mundial, produciendo para el año 2016, 242 millones de toneladas de desechos de este tipo, según el Informe del Banco Mundial titulado *What a Waste 2.0* publicado en el año 2018, de la totalidad de residuos plásticos generados, las Naciones Unidas ONU estima que solo el 9% de los plásticos se recicla y el 12 % se incinera, con lo cual el 79% termina en los océanos y diferentes ecosistemas, convirtiéndose en un gran problema para los sistemas de gestión de residuos sólidos municipales.

Es por esto, que se requieren de diversas alternativas que permitan minimizar el impacto generado por la producción de estos residuos, una de las cuales es la generación de nuevos materiales que incorporen dentro de su composición diferentes tipos de residuos que puedan ser reutilizados en varias aplicaciones, principalmente en el sector industrial y construcción, garantizando el aprovechamiento de estos a través de diversas formas de uso cotidiano o de aplicaciones innovadoras en el campo de la ciencia y la ingeniería. La cascarilla de arroz ha sido ampliamente utilizada en matrices poliméricas, en las cuales se mezcla la cascarilla con Polietileno de Baja Densidad (PBD), Polietileno Tereftalato (PET), entre otros, permitiendo así un aprovechamiento de este residuo, para facilitar el acople de la cascarilla con los materiales poliméricos se han utilizado agentes compatibilizantes como el Copolímero Etileno - Glicidil Metacrilato (E-GMA) y agentes de acople como el Anhídrido Maleico de Polietileno (MAPE) y el Sulfuro Silano. Por lo anterior el presente trabajo, tiene como objetivo revisar los diferentes tipos de mezclas que se han generado con la cascarilla de arroz y residuos poliméricos, para comparar y analizar las propiedades físicas, mecánicas, térmicas y morfológicas de estas mezclas identificando usos potenciales que se les puedan dar a estos nuevos materiales.

**Palabras clave:** Cascarilla de arroz, Residuos sólidos plásticos, propiedades mecánicas, propiedades térmicas y propiedades morfológicas, agentes de acople.

## **Análisis de las tendencias de la implementación de herramientas de inteligencia artificial en la gestión de residuos sólidos urbanos**

*Johanna Karina Solano Meza<sup>1</sup>, David Orjuela Yepes<sup>1</sup>, Javier Rodrigo Ilarri<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Sede Principal. Grupo de Investigación INAM-USTA

<sup>2</sup>Instituto de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (IIAMA), Universitat Politècnica de València, 46022 València, Spain

### **Resumen**

La necesidad de desarrollar herramientas viables que faciliten la toma de decisiones en el proceso de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos se constituye en una prioridad actual, dado el panorama creciente en la generación de los mismos en las ciudades a nivel mundial. La toma de decisiones para las alternativas de manejo, transporte, tratamiento y disposición final se convierte en una de las actividades primordiales dentro del diseño y planeación de dicha gestión, de manera que no solo se realice un proceso efectivo administrativamente sino que también se incluyan diferentes variables como las características propias de la población a estudiar, el clima, la estratificación socioeconómica entre otras. Dada la misma complejidad de estos procesos de gestión, en algunas oportunidades las administraciones locales no cuentan con datos suficientes que permitan dar un análisis riguroso y detallado del comportamiento de la generación y manejo de los residuos sólidos urbanos, y por tanto tener una cantidad suficiente de datos para el diseño e implementación de ciertos modelos matemáticos; sin embargo existen herramientas y modelos asociados a la inteligencia artificial que permiten hacer predicciones de cálculo para un diseño adecuado de este tipo de sistemas. Estas herramientas se constituyen en una estrategia de apoyo que permite proyectar datos de generación de los residuos sólidos así como la optimización de aspectos económicos, el planteamiento de posibilidades que permitan beneficios sociales y la minimización de impactos ambientales, teniendo presente las diferentes variables involucradas en el proceso de planificación, diseño y puesta en marcha de esta gestión. Es así que estas herramientas se han planteado como una alternativa para una correcta selección de tecnologías, el planteamiento de lineamientos dentro de esta gestión y como un medio para la toma de decisiones de forma asertiva y precisa. Implementar este tipo de modelos para el cálculo de la generación de residuos sólidos y la optimización

de las etapas del proceso facilitará la labor de las administraciones municipales encargadas del diseño de los planes de gestión de residuos sólidos y seleccionar la tecnología más apropiada de acuerdo a la caracterización física de los residuos y de las características propias de la región o ciudad de estudio. Dados los diferentes beneficios que presentan estos modelos de cálculo de forma general dentro de un proceso, que pueden involucrar en esta área de conocimiento de la ingeniería, específicamente en el área ambiental, diversas técnicas como las redes neuronales, los árboles de decisión, los algoritmos genéticos y las máquinas de soporte vectorial para determinar de forma cuantitativa y con datos reales de una población las mejores alternativas de aprovechamiento y disposición de los residuos sólidos urbanos, teniendo presente la apuesta que ha planteado el país de inclusión de diversas apuestas que estén encaminadas a los lineamientos que propone la economía circular.

**Palabras clave:** Inteligencia artificial, residuos sólidos urbanos, disposición final de residuos sólidos urbanos, gestión integral de residuos sólidos.

## Estudio termoquímico asistido por computadora de una planta para la obtención de oxígeno

*Diego Alejandro Feo<sup>1\*</sup>, Melvin A. Durán<sup>2</sup>, Jeffrey León-Pulido<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Tecnológico ONTARE, Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería,  
Universidad EAN, Bogotá- Colombia

<sup>2</sup>Departamento de Química, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia,  
Cra 27 No 10-02, Pereira, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [dfeoavi53134@universidadean.edu.co](mailto:dfeoavi53134@universidadean.edu.co)

### Resumen

La industria gasera es una de las más importantes para el desarrollo de productos elaborados o la prestación de servicios industriales en diferentes organizaciones. La producción de oxígeno ha sido desarrollada por procesos especiales de intercambio de calor en donde es provechado el aire. El proceso es desarrollado teniendo en cuenta modelos matemáticos para la representación de las fenomenologías de procesos, además de la aplicación de condiciones de procesos típicas de las plantas químicas en las que se desarrollan procesos complejos de obtención de oxígeno. El presente estudio un modelamiento y simulación en estado estacionario de una planta criogénica de separación de aire con el

simulador de procesos *Aspen Plus V11*®. Para lo cual se selección del modelo termodinámico fue realizado un estudio preliminar ajustable, considerando el comportamiento binario y datos experimentales para la validación, posteriormente el estudio del comportamiento de una separación de oxígeno, nitrógeno y argón, fue desarrollado con el fin de obtener altas concentraciones y pureza en los productos. Finalmente, un análisis de condiciones del sistema, acompañado por un estudio energético a partir del Set de la simulación, fueron aplicados para el desarrollo del proceso de producción.

**Palabras clave:** oxígeno, simulación, termoquímica, criogénico, linde.

## Recuperación de poliestireno expandido a partir de solventes orgánicos

*Ingrit Daniela Pardo Mendoza*<sup>1\*</sup>, *Jeffrey León-Pulido*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gestión Ambiental, Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad EAN,

\*Autor de Correspondencia: [ipardom67337@universidadean.edu.co](mailto:ipardom67337@universidadean.edu.co)

### Resumen

El poliestireno expandido (EPS) es un plástico de producción masiva, este material tiene una estructura celular cerrada y rellena de aire (2% EPS- 98% aire) lo que le da propiedades importantes de aislamiento térmico, baja absorción de agua, baja densidad, alta capacidad de amortiguación e higiene, además de tener un bajo costo y fácil producción. Estas características lo convierten en uno de los polímeros más utilizados a nivel mundial, sin embargo, el ciclo de vida útil del EPS es muy corto ya que se usa una sola vez y se desecha rápidamente, esto sumado a la lenta tasa de degradación aumenta la problemática ambiental en los vertederos. Según Acoplásticos en el país se consumen alrededor de 80.000 ton/año de EPS de los cuales solo el 1% es reciclado El presente proyecto presenta una alternativa verde para el aprovechamiento del EPS, evitando el uso de procesos de alto consumo energético o solventes tóxicos (tolueno, benceno, ciclohexano, acetona entre otros), estos fueron reemplazados por d-limoneno y aceite de eucalipto, solventes naturales extraídos de desechos orgánicos. Se realizaron experimentos de disolución a distintas temperaturas (21°C, 30° C, 40°C y 50°C) para determinar los perfiles de temperatura vs tiempo de disolución. Adicional se hicieron experimentos a distintas proporciones (1/10, 1/3, ½ , 1/1, 1.25/1,

1.5/1) en relación peso/peso para determinar la mayor cantidad de EPS que puede disolver 1 g. del solvente, se obtuvo que 1 g. de limoneno puede disolver 1.25 g. de EPS y 1 g. de aceite de eucalipto puede disolver 1g. de EPS a condiciones estándar de presión y temperatura, con esta información se hicieron pruebas a mayor escala, en promedio la reducción del espacio ocupado por los residuos de EPS fue de 96%, obteniendo una resina traslucida, moldeable, con olor a cítricos y eucalipto, cuya aplicabilidad se puede llevar a distintos sectores para la fabricación de productos termoplásticos.

**Palabras clave:** Residuos, Poliestireno Expandido, solvente orgánico.

## Estudio del potencial desalinizador de *sesuvium portulacastrum* mediante cultivos hidropónicos contaminados con sulfato de aluminio

Cristian Sanjuan<sup>1</sup>, Lesly Tejada-Benítez<sup>2\*</sup>, Liset Mallarino<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de investigación de Diseño De Procesos y Aprovechamiento de Biomásas.  
Facultad de Ingeniería. Universidad de Cartagena

<sup>2</sup>Grupo de investigación en ciencias Biomédicas, toxicológicas y ambientales, Campus Zaragocilla.  
Facultad de Medicina. Universidad de Cartagena

\*Autor de Correspondencia: ltejedab@unicartagena.edu.co

### Resumen

La contaminación de los suelos producto de la potabilización de agua es considerado un tema de gran interés a nivel mundial, ya que dentro de este proceso es utilizado un agente floculante llamado sulfato de Aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ ), el cual, al llegar a los suelos provoca aumento de la salinidad en este, disminuyendo el crecimiento normal de las plantas en el terrero circundante. Por lo anterior, en la siguiente investigación se determinó la capacidad de crecimiento de *Sesuvium portulacastrum*, planta halófila multifacultativa a diferentes concentraciones de ( $Al_2(SO_4)_3$ ) suplementada con un nutriente líquido a media capacidad tipo Hoagland. El tamaño de la raíz, largo de la planta, número de hojas, número de secciones, número de raíces, el peso húmedo y conductividad de la solución fueron monitoreados durante 25 días, con el fin de establecer relaciones entre las variables mencionadas anteriormente en el índice de succulencia de las hojas. Los resultados muestran un incremento en la succulencia de las hojas (LAR) característico del ajuste osmótico por el estrés salino, además la disminución de hasta 1

$\text{dS m}^{-1}$  de la conductividad en cada muestra. Lo anterior demuestra los procesos de phytodesalinización de las plantas al estar en contacto con alto contenido de este contaminante.

**Palabras clave:** Floculante, Halófito, Salinidad, Plantas, Contaminante

## Primera planta piloto de latinoamérica para tratamiento de aceites de transformador contaminados con PCB, mediante oxidación en agua supercrítica

*Edwin Sánchez<sup>1</sup>, Gustavo Bolaños<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Termodinámica Aplicada y Fluidos Supercríticos  
Escuela de Ingeniería Química, Universidad del Valle,  
CL 13 100-00 Edificio E27, Cali, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [gustavo.bolanos@correounivalle.edu.co](mailto:gustavo.bolanos@correounivalle.edu.co)

### Resumen

Los bifenilos policlorados (PCB) son sustancias tóxicas y cancerígenas que se utilizaron principalmente como aceites aislantes para transformadores eléctricos y de acuerdo con tratados internacionales se deben eliminar de manera ambientalmente amigable antes del año 2028. La incineración en el extranjero ha sido hasta ahora la única alternativa disponible para tratar los aceites de compañías colombianas. Sin embargo, la difícil logística de transporte ha hecho que el proceso no sea económicamente factible para muchas de dichas compañías.

La oxidación en agua supercrítica es una tecnología competitiva para tratar estos residuos. En trabajos anteriores de nuestro grupo se ha mostrado que es posible tratar aceites con concentraciones de PCB hasta de 20000 ppm, a 539 C, 100% de exceso de oxígeno y 241 bar usando metanol como acelerador, para obtener eficiencias de destrucción de PCB del 99.61% en tiempos de reacción de solo 30 s.

Para incrementar la capacidad local para tratamiento de aceites contaminados con PCB, se diseñó y construyó una planta piloto móvil, del tamaño de un contenedor estándar de 40 ft, que es la primera de su clase en Latinoamérica. La planta de oxidación supercrítica tiene una capacidad de 70 kg/h y se puede operar de 400 a 550 C a 270 bar, utilizando peróxido de hidrógeno como agente oxidante.

El reactor es tubular, continuo, de múltiples inyecciones, y tiene un volumen de 12 L. Se utilizan un intercambiador de calor para precalentar el alimento con los productos de la reacción y calentadores eléctricos para alcanzar la temperatura de la reacción. Este trabajo describe detalles del diseño y resultados de la operación de la planta piloto móvil de oxidación supercrítica.

## Evaluación de carbón activado de cáscara de piñón (*pinus patula*) en la remoción de cromo (VI) en solución acuosa

*Aldair Tovar Zapata, Jacqueline Corredor Acuña\**

Grupo de Investigación en Ing. química, Programa de Ingeniería Química, Universidad de Pamplona, km 1 vía a Bucaramanga, Pamplona, 543050, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [jacqueline.corredor@unipamplona.edu.co](mailto:jacqueline.corredor@unipamplona.edu.co)

### Resumen

El calentamiento global y los residuos contaminantes han afectado la disponibilidad del agua dulce a nivel mundial. Controlar esta situación requiere el desarrollo o el empleo de nuevas tecnologías, entre las que se pueden destacar: El intercambio iónico (Bachmann, Wiemken, Tengkiat, & Wilichowski, 2010), la separación con membranas (Ren et al., 2010), la ultrafiltración (Ghosh & Bhattacharya, 2006), los métodos biológicos (Sahinkaya, Altun, Bektas, & Komnitsas, 2012), y la adsorción (Deveci & Kar, 2013). Investigadores han demostrado que la adsorción de contaminantes con carbón activado (CA) es una técnica eficiente, sencilla y con potencial, tanto por la reutilización del adsorbente, como porque puede presentar un área superficial y grado de porosidad muy altos (Acharya, Sahu, Sahoo, Mohanty, & Meikap, 2009).

Mediante activación química con  $H_3PO_4$  se prepararon dos muestras de CA a partir de la cascara del piñón, una se funcionalizó con celulosa y otra no, (CACCN) y (CASCN), respectivamente; se caracterizaron estudiando el comportamiento de ácido-base y determinando el área superficial. Se llevaron a cabo una serie de estudios donde se pusieron en contacto 0,02 g de CAs por 10 mL de solución de Cr (VI) de concentraciones iniciales 100 mg/L y 250 mg/L, ajustadas a pH's 1 y 8; la temperatura se controló en 25°C y la agitación en 150 rpm.

En las muestras de CACCN y CASCN, se demostraron mayor concentración de sitios ácidos que básicos, la diferencia fue de 2,056 meq/g y 1,953 meq/g de sitios ácidos, respectivamente. El pH de carga cero fue de 2,5 en ambos casos. Las isotermas de adsorción se ajustaron al modelo de Freundlich, determinándose áreas de 955 y 1485 m<sup>2</sup>/g, respectivamente.

Se obtuvo la mayor remoción (89,89 %) con el absorbente CACCN, en la solución de pH = 1 con 100 mg Cr/L.

**Palabras clave:** Adsorción, equilibrio, isoterma, metal pesado, celulosa

## Referencias

- Acharya, J., Sahu, J. N., Sahoo, B. K., Mohanty, C. R., & Meikap, B. C. (2009). Removal of chromium(VI) from wastewater by activated carbon developed from Tamarind wood activated with zinc chloride. *Chemical Engineering Journal*, 150(1), 25-39. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2008.11.035>
- Bachmann, R. T., Wiemken, D., Tengkiat, A. B., & Wilichowski, M. (2010). Feasibility study on the recovery of hexavalent chromium from a simulated electroplating effluent using Alamine 336 and refined palm oil. *Separation and Purification Technology*, 75(3), 303-309. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2010.08.019>
- Deveci, H., & Kar, Y. (2013). Adsorption of hexavalent chromium from aqueous solutions by bio-chars obtained during biomass pyrolysis. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19(1), 190-196. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2012.08.001>
- Ghosh, G., & Bhattacharya, P. K. (2006). Hexavalent chromium ion removal through micellar enhanced ultrafiltration. *Chemical Engineering Journal*, 119(1), 45-53. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2006.02.014>
- Ren, X., Zhao, C., Du, S., Wang, T., Luan, Z., Wang, J., & Hou, D. (2010). Fabrication of asymmetric poly (m-phenylene isophthalamide) nanofiltration membrane for chromium(VI) removal. *Journal of Environmental Sciences*, 22(9), 1335-1341. doi: [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60259-X](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60259-X)
- Sahinkaya, E., Altun, M., Bektas, S., & Komnitsas, K. (2012). Bioreduction of Cr(VI) from acidic wastewaters in a sulfidogenic ABR. *Minerals Engineering*, 32(Supplement C), 38-44. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2012.03.014>

## Evaluación de la eficiencia a la corrosión de un acero al carbono, mediante el uso de timol como inhibidor ecológico

*William Yamid Aparicio Bayona, Jacqueline Corredor Acuña\**  
Grupo de Investigación, Ingeniería Química, Universidad de Pamplona,  
km 1 vía a Bucaramanga, Pamplona Norte de Santander.  
\*Autor de correspondencia: jacquelinecorredor@yahoo.com

### Resumen

El impacto de la corrosión involucra tres áreas de interés: La economía, la seguridad y el daño ambiental [1]. Para el desarrollo de este proyecto nos enfocamos principalmente en la problemática ambiental.

La corrosión es la degradación de un material a causa de la acción del ambiente en que está inmerso [2]. Para evitar o disminuir este fenómeno, algunas sustancias químicas son excelentes inhibidores pero son bastante tóxicos y fácilmente adsorbidos por la piel [1].

El uso de inhibidores como los heterociclos sustituidos, los imidazoles, las piridinas, los furanos, los tiofenos y los isoxazoles [3] empleados para controlar procesos de corrosión, ha demostrado tener buenas eficiencias pero la mayoría de los compuestos que constituyen estos inhibidores son tóxicos para los humanos y sus ambientes [4].

Los aceros al carbono son utilizados con frecuencia en una extensa gama de aplicaciones en la industria de la construcción debido a sus buenas propiedades mecánicas y bajo costo. Una desventaja es la baja resistencia a la corrosión de este tipo de aceros en ambientes ácidos. Los inhibidores de la corrosión son sustancias que cuando se agregan en pequeñas concentraciones a medios corrosivos disminuyen o evitan la reacción del metal con los medios [5]. Los inhibidores son uno de los métodos más prácticos para la protección contra la corrosión especialmente en medios ácidos [6] ya que son de fácil aplicación, costo razonable y su alta eficiencia atrae gran atención [7].

Extractos de plantas que poseen propiedades antioxidantes, como plantas medicinales entre las que se destaca el orégano [8], ajo [9], tomillo [10], té verde [11] y de-

sechos provenientes de frutas, puede tener una aplicación eficiente para ser usado como inhibidores de corrosión ecológicos como se evidencian en investigaciones realizadas con cascara de sandía, [12], cascara de naranja [13] y manzana roja [14].

El objetivo principal fue evaluar la eficiencia del uso del Timol como inhibidor ecológico durante la exposición de acero A36 a medios ácidos. Para lograr esto, se realizaron estudios gravimétricos del acero en solución de HCl 0,5M modificado con diferentes concentraciones de Timol (0, 250, 500, 1000 y 1500ppm). Se calculó la eficiencia de inhibición del Timol y se determinaron parámetros termodinámicos a cuatro temperaturas (18, 25, 35 y 45°C). Finalmente, se realizaron pruebas electroquímicas de curvas de polarización e impedancia potencioestática.

Los resultados demostraron que, las pérdidas de peso disminuyeron al aumentar las concentraciones de Timol en la solución de HCl 0,5M y que la probeta en ausencia de Timol perdió 3,8 veces más peso que la probeta inhibida con 1500ppm. El mecanismo de adsorción (fisorción) del Timol sobre el acero se pudo ajustar a la isoterma de Langmuir, y el aumento de la temperatura favoreció la eficiencia de inhibición de la corrosión del acero en presencia de Timol en el rango de 18-35°C.

Las curvas de polarización arrojaron que la máxima eficiencia del inhibidor fue del 83% a la concentración de 1500ppm.

**Palabras clave:** Curvas de polarización, gravimetría, impedancia potencioestática, inhibidor ecológico, isoterma de adsorción.

## Referencias

- H. H. Uhlig, Uhlig's corrosion handbook. Third edition, John Wiley. Hoboken, 2011.
- J. Bilurbina, Luis; Mestres, Francisco; Iribarren, Corrosión y protección, Edicions U. Barcelona, 2003.
- M. A. Chidiebere, E. E. Oguzie, L. Liu, Y. Li, and F. Wang, "Ascorbic acid as corrosion inhibitor for Q235 mild steel in acidic environments," J. Ind. Eng. Chem., vol. 26, pp. 182–192, 2015, DOI: 10.1016/j.jiec.2014.11.029.
- N. A. Odewunmi, S. A. Umoren, and Z. M. Gasem, "Utilization of watermelon rind extract as a green corrosion inhibitor for mild steel in acidic media," J. Ind. Eng. Chem., vol. 24, pp. 342–350, 2014, DOI: 10.1016/j.jiec.2014.10.007.

- P. B. Raja and M. G. Sethuraman, "Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media — A review," *Mater. Lett.*, vol. 62, no. 1, pp. 113–116, Jan. 2008, DOI: 10.1016/J.MATLET.2007.04.079.
- L. A. Nnanna, V. U. Obasi, O. C. Nwadiuko, K. I. Mejuh, N. D. Ekekwe, and S. C. Udensi, "Inhibition by *Newbouldia leavis* Leaf Extract of the Corrosion of Aluminium in HCl and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Solutions," vol. 4, no. 1, pp. 207–217, 2012.
- A. Ehsani, M. G. Mahjani, M. Hosseini, R. Safari, R. Moshrefi, and H. Mohammad Shiri, "Evaluation of *Thymus vulgaris* plant extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for stainless steel 304 in acidic solution by means of electrochemical impedance spectroscopy, electrochemical noise analysis and density functional theory," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 490, pp. 444–451, 2017, DOI: 10.1016/j.jcis.2016.11.048.
- C. Amadio, S. Miralles, R. Medina, C. Dediol, and M. Zimmermann, "Aceite esencial de orégano: un potencial aditivo alimentario," *Rev. la Fac. Ciencias Agrar. UNCUYO*, vol. 43, no. 1, pp. 237–245, 2011, DOI: 10.1016/j.jare.2013.12.007.
- H. Cheng and G. Huang, "Extraction, characterisation and antioxidant activity of *Allium sativum* polysaccharide," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 114, pp. 415–419, 2018, DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.03.156.
- N. H. Habashy, M. M. Abu Serie, W. E. Attia, and S. A. M. Abdelgaleil, "Chemical characterization, antioxidant and anti-inflammatory properties of Greek *Thymus vulgaris* extracts and their possible synergism with Egyptian *Chlorella vulgaris*," *J. Funct. Foods*, vol. 40, no. January 2017, pp. 317–328, 2018, DOI: 10.1016/j.jff.2017.11.022.
- S. Yan, H. Shao, Z. Zhou, Q. Wang, L. Zhao, and X. Yang, "Non-extractable polyphenols of green tea and their antioxidant, anti- $\alpha$ -glucosidase capacity, and release during in vitro digestion," *J. Funct. Foods*, vol. 42, no. September 2017, pp. 129–136, 2018, DOI: 10.1016/j.jff.2018.01.006.
- N. A. Odewunmi, S. A. Umoren, Z. M. Gasem, S. A. Ganiyu, and Q. Muhammad, "L-Citrulline: An active corrosion inhibitor component of watermelon rind extract for mild steel in HCl medium," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 51, pp. 177–185, 2015, DOI: 10.1016/j.jtice.2015.01.012.
- N. M'hiri, D. Veys-Renaux, E. Rocca, I. Ioannou, N. M. Boudhrioua, and M. Ghoul, "Corrosion inhibition of carbon steel in acidic medium by orange peel extract and its main antioxidant compounds," *Corros. Sci.*, vol. 102, no. 2016, pp. 55–62, 2016, DOI: 10.1016/j.corsci.2015.09.017.
- S. Umoren, I. B. Obot, Z. Gasem, and N. A. Odewunmi, "Experimental and Theoretical Studies of Red Apple Fruit Extract as Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in HCl Solution," *J. Dispers. Sci. Technol.*, vol. 36, no. 6, pp. 789–802, 2015, DOI: 10.1080/01932691.2014.922887.

## Remoción de mercurio de agua usando membranas híbridas de suero de leche y policaprolactona producidas por electrohilado

Laura Cristina Ramírez-Rodríguez<sup>1</sup>, María Ximena Quintanilla-Carvajal<sup>2</sup>, Carlos Jiménez<sup>3</sup> Junca<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Diseño y Gestión de Procesos, Universidad de la Sabana, Campus Universitario Puente del Común, Km. 7 Autopista Norte, Bogotá, Colombia

<sup>2</sup>Grupo Investigación en Procesos Agroindustriales, Facultad de Ingeniería, Universidad de La Sabana, Campus Universitario Puente del Común, Km. 7 Autopista Norte, Bogotá, Colombia.

<sup>3</sup>Grupo de Investigación en Bioprospección, Facultad de Ingeniería, Universidad de la Sabana, Campus Universitario Puente del Común, Km. 7 Autopista Norte, Bogotá, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [carlos.jimenez@unisabana.edu.co](mailto:carlos.jimenez@unisabana.edu.co)

### Resumen

La contaminación del agua por metales pesados es uno de los problemas ambientales más graves en el mundo debido al rápido desarrollo industrial y la carencia de legislación ambiental [1]. El mercurio se considera el metal pesado más tóxico para el medio ambiente y es uno de los contaminantes prioritarios según la EPA [2]. Para eliminar metales pesados del agua el método más usado es la adsorción, debido a su alta eficiencia, simplicidad, versatilidad y a la diversidad de adsorbentes disponibles [3]. Sin embargo, este método tiene algunas desventajas como la complejidad en la implementación a gran escala y el alto costo de los adsorbentes [4]. Para superar esto, estudios recientes proponen el uso de membranas adsorbentes para tratar el agua debido a su modo de operación conveniente para su implementación en la industria [5].

Recientemente, se han desarrollado membranas adsorbentes elaboradas a partir de nano- fibras electrohiladas. Estas se fabrican usando electrohilado, el cual es un método eficiente y versátil que permite obtener membranas con una amplia área superficial, alta porosidad y estabilidad estructural [6]. Las fibras producidas por electrohilado son elaboradas generalmente a partir de polímeros. La policaprolactona (PCL) es un polímero que posee una alta resistencia mecánica, hidrofobicidad, no es tóxico y ha sido ampliamente usada para elaborar nano-fibras en el área biomédica [7]. Sin embargo, el uso de la PCL para fabricar adsorbentes es limitado porque no posee carga y carece de grupos funcionales. Para mejorar estas limitaciones, la PCL se puede combinar con materiales potencialmente adsorbentes como los amiloides de proteína. Estos amiloides se han utilizado ampliamente para la remediación ambiental especialmente en la remoción de

metales pesados debido a la alta afinidad que poseen con los iones metálicos que se respalda en evidencia médica [9]. Pero estos amiloides deben ser usados en conjunto con un soporte mecánico, debido a que las propiedades mecánicas y físicas de los amiloides hacen que su implementación por sí sola sea complicada [10]. En consecuencia, el objetivo de este estudio fue producir una membrana híbrida de amiloides de proteína de suero de leche y PCL mediante electrohilado para remover mercurio del agua.

Las membranas de suero de leche y PCL obtenidas fueron caracterizada por SEM, FTIR, DSC y TGA. Las membranas se sometieron a estudios cinéticos e isotermas de adsorción que se ajustaron a los modelos clásicos de adsorción. Los resultados demostraron que el modelo de Sips presentó el mejor ajuste para todas las condiciones evaluadas y la capacidad máxima de adsorción fue de 16.7 mg/g a 30°C y pH 5 demostrando la naturaleza endotérmica de la membrana híbrida. Asimismo, al comparar la membrana híbrida con una membrana elaborada de solo PCL, se observó que la PCL por sí sola no adsorbe mercurio. Concluyendo así que efectivamente el potencial de los grupos funcionales de los amiloides de proteína de suero de leche tiene un efecto sobre la remoción de mercurio. Estos resultados abren la posibilidad para usar membranas híbridas elaboradas por electrohilado usando proteína de suero de leche para remover mercurio del agua en aplicaciones ambientales e industriales a gran escala, lo cual es un desafío para los adsorbentes actuales.

**Palabras clave:** electrospinning, membrana, adsorción, mercurio.

### Referencias:

- Zhang, S.; Shi, Q.; Korfiatis, G.; Christodoulatos, C.; Wang, H.; Meng, X. Chromate removal by electrospun PVA/PEI nanofibers: Adsorption, reduction, and effects of co-existing ions. *Chem. Eng. J.* 2020, *387*.
- Liu, C.; Peng, J.; Zhang, L.; Wang, S.; Ju, S.; Liu, C. Mercury adsorption from aqueous solution by regenerated activated carbon produced from depleted mercury-containing catalyst by microwave-assisted decontamination. *J. Clean. Prod.* 2018, *196*, 109–121.
- Hamad, A.A.; Hassouna, M.S.; Shalaby, T.I.; Elkady, M.F.; Abd Elkawi, M.A.; Hamad, H.A. Electrospun cellulose acetate nanofiber incorporated with hydroxyapatite for removal of heavy metals. *Int. J. Biol. Macromol.* 2020, *151*, 1299–1313.

- Carolin, C.F.; Kumar, P.S.; Saravanan, A.; Joshiba, G.J.; Naushad, M. Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: A review. *J. Environ. Chem. Eng.* 2017, 5, 2782–2799.
- Khulbe, K.C.; Matsuura, T. Removal of heavy metals and pollutants by membrane adsorption techniques. *Appl. Water Sci.* 2018, 8, 1–30.
- Tran-Ly, A.N.; Ribera, J.; Schwarze, F.W.M.R.; Brunelli, M.; Fortunato, G. Fungal Melani--based electrospun membranes for heavy metal detoxification of water. *Sustain. Mater. Technol.* 2020, 23, e00146.
- Irandoust, M.; Pezeshki-Modaress, M.; Javanbakht, V. Removal of lead from aqueous solution with nanofibrous nanocomposite of polycaprolactone adsorbent modified by nanoclay and nanozeolite. *J. Water Process Eng.* 2019, 32, 100981.
- Knowles, T.P.J.; Mezzenga, R. Amyloid Fibrils as Building Blocks for Natural and Artificial Functional Materials. *Adv. Mater.* 2016, 28, 6546–6561.
- Morris, K.; Serpell, L. From natural to designer self-assembling biopolymers, the structural characterisation of fibrous proteins and peptides using fibre diffraction. *Chem. Soc. Rev.* 2010, 39, 3445.
- Li, C.; Adamcik, J.; Mezzenga, R. Biodegradable nanocomposites of amyloid fibrils and graphene with shape-memory and enzyme-sensing properties. *Nat. Nanotechnol.* 2012, 7, 421–427.

## Evaluación conceptual de un incinerador para el tratamiento y/o disposición final de residuos sólidos municipales en Bucaramanga, Santander

Andrés Felipe Ardila Gómez, María Victoria Acevedo Estupiñán\*

Grupo de Investigación de Gestión Agroindustrial-GIGA, Programa de Ingeniería Ambiental, Unidades Tecnológicas de Santander, calle de los estudiantes 9-82 Ciudadela Real de Minas, Bucaramanga, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [macevedo@correo.uts.edu.co](mailto:macevedo@correo.uts.edu.co)

### Resumen

Los residuos sólidos municipales (RSU), son una problemática que afecta la calidad de vida y el entorno. La cultura consumista hace que se generen toneladas de residuos, en Bucaramanga se disponen en el relleno sanitario El Carrasco, que desde el 2012 opera bajo emergencia sanitaria. En países desarrollados, la incineración ha sido usada efectivamente para tratar los RSM. El objetivo del proyecto fue, evaluar la operación de manera conceptual de un incinerador mediante tecnologías ambientales que permitan disminuir los impactos en el recurso aire y mejorar la

disposición de residuos sólidos en Bucaramanga, Santander. La metodología inicia con una revisión del estado del arte de la tecnología. Enseguida se extrajeron datos para generar balances de masas y energía, se determinaron los compuestos a tratar con tecnologías ambientales para mitigar los impactos negativos y finalmente, evaluar la sostenibilidad con un análisis de ciclo de vida (LCA) ISO-14040. Los resultados muestran que en Bucaramanga solo se aprovecha el 9,58% de los residuos y el 90,42% son dispuestos en El Carrasco, de estos el peso seco de los residuos incinerables es 65.068,21kg. Los productos post-combustión son: 28,8% CO<sub>2</sub>(g) ,59,2% H<sub>2</sub>O(g) y el 12% restante SO<sub>3</sub>(g), NO<sub>2</sub>(g), N<sub>2</sub>O(g), HNO<sub>3</sub>(g), aire y cenizas. La valoración energética de la incineración alcanza 123.285,56 [GWh] que cubriría las necesidades energéticas de 22.280 usuarios. Para evitar las dioxinas el incinerador alcanza los 2.300°C gracias al arranque con propano, posteriormente las corrientes gaseosas de salida se someten al lavado de gases con tres sub- procesos: precipitación electrostática, scrubber y ciclón. El LCA muestra que la incineración es más viable respecto a la disposición de los RSM en rellenos sanitarios debido a su aprovechamiento energético, minimización de la masa y volumen dispuesta en el suelo. Se concluye que la incineración es una tecnología que debería considerarse en la gestión de RSM en Bucaramanga.

**Palabras clave:** Residuos Sólidos, Incineración, Balances de masas y energía, Tecnologías ambientales, Análisis de ciclo de vida.

## Deposición electroforética de dióxido de titanio en acero inoxidable con aplicación en fotocátalisis soportada para la degradación de colorantes

*Daniel Borrás, Lina Castañeda, Julián Munera, Wilber Silva\*, Dora M. Carmona.*  
Grupo de Investigaciones Ambientales, \*Grupo Óptica y Espectroscopía,  
Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín.

\*Autor de Correspondencia: wilber.silva@upb.edu.co

### Resumen

Los métodos convencionales empleados en la industria textil para tratar sus aguas residuales no son suficientes para la degradación completa de colorantes, evitando su reúso y afectando los cauces naturales. De los tratamientos terciarios, la fotocátalisis soportada se ha caracterizado como una tecnología avanzada de oxidación promisoría en degradación de colorantes, en la cual el elemento principal es una superficie fotoactiva que consta de un fotocatalizador depositado en un material soporte, constituyéndose este proceso en una de las etapas fundamentales junto con la selección del tipo de fotocatalizador. Una de las fases activas más estudiadas es el dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), el cual se puede depositar sobre el material soporte por diferentes métodos fisicoquímicos, destacándose la electroforesis. En el presente trabajo se realizó un estudio de la deposición electroforética de  $\text{TiO}_2$  de grado comercial por fotocátalisis soportada con aplicación en degradación de colorantes. Se seleccionó un rango de voltaje mediante la evaluación cualitativa de agrietamiento, para esto se depositó  $\text{TiO}_2$  sobre cuatro placas de acero inoxidable a 10, 20, 30 y 40 V manteniendo constante un tiempo de 4 min, área de depósito de 4  $\text{cm}^2$ , y concentración de  $\text{TiO}_2$  de 10 g/L, obteniéndose que a mayor voltaje se aumenta la posibilidad de agrietamiento y se crean zonas de poca adherencia de fotocatalizador. La selección del tiempo de deposición se realizó mediante un estudio de degradación de azul de metileno (concentración inicial nominal de 0,33 mg/L) por fotocátalisis soportada utilizando seis placas con recubrimientos elaborados a 1, 2 y 3 minutos y un voltaje de 10 y 20 voltios (rango de voltaje sin agrietamiento), la pérdida de masa de  $\text{TiO}_2$  y el porcentaje de decoloración se tuvieron en cuenta para la comparación de cada placa. El recubrimiento elaborado a 10 V y 1 minuto (con un depósito de 0,5  $\text{mg/cm}^2$ ) fue el que presentó mejor adherencia (22% de pérdida de recubrimiento) y mejor porcentaje de decoloración (91,2%). Por último, se analizó el recubrimiento de mejores resul-

tados mediante un análisis SEM-EDS, donde se evidenció alta rugosidad y presencia de  $\text{TiO}_2$  en las zonas del recubrimiento de capa más fina. En conclusión, mediante electroforesis es posible lograr depósitos de  $\text{TiO}_2$  capaces de realizar decoloración de azul de metileno por fotocatalisis soportada, siendo esta última mayor en un recubrimiento con un factor de masa por unidad de área geométrica de 0,5 mg/cm<sup>2</sup>.

**Palabras clave:** Electroforesis, Dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), Fotocatalisis, Azul de metileno.

## Reactividad de catalizadores de Pt-Fe soportados en sílice para la combustión de metano

*Carol B. Espinosa-Lobo<sup>1</sup>, Edwing Velasco-Rozo<sup>1</sup>, Víctor G. Baldovino-Medrano<sup>\*,1,2</sup>*

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones en Catálisis (@CICAT UIS), <sup>2</sup>Laboratorio de Ciencia de Superficies (#SurfLab-UIS), Parque Tecnológico Guatiguará (PTG), Km. 2 vía El Refugio, Universidad Industrial de Santander, Piedecuesta (Santander), 681011, Colombia

\*Autor de correspondencia: [vicbaldo@uis.edu.co](mailto:vicbaldo@uis.edu.co)

### Resumen

Los problemas que conlleva la combustión convencional de metano pueden ser resueltos mediante la combustión catalítica. Dentro de los catalizadores utilizados para este propósito se destacan los que contienen como fase activa el platino. El platino se ha destacado por ser activo y selectivo, pero su alto costo y la baja resistencia a la desactivación han impedido su total desarrollo industrial. Por otro lado, se ha demostrado que los óxidos de metales de transición como el hierro podrían ser implementados como promotores en catalizadores monometálicos soportados brindándoles estabilidad y reduciendo considerablemente su costo. Debido a que la interacción metal – soporte es uno de los requerimientos principales para garantizar un catalizador de alto rendimiento, en este trabajo se implementó el método de adsorción electrostática fuerte (SEA) para la síntesis de catalizadores bimetálicos Pt-Fe soportados en  $\text{SiO}_2$ . En particular, el trabajo analizará los efectos que producen variaciones en la relación Pt/Fe y las condiciones de calcinación sobre las propiedades y reactividad de los catalizadores en la reacción de combustión de metano. La ventaja que proporciona el método SEA es la fuerte interacción metal – soporte otorgada por la diferencia de cargas. Por tal razón, los catalizadores sintetizados por este método buscan producir partículas metálicas

sin intermediación de óxidos producidos durante la calcinación. De este modo, las condiciones de calcinación se fijaron en:  $T=300^{\circ}\text{C}$ , Flujo Ar (50mL/min) durante 4 h. Como caracterización de los materiales, se hicieron ensayos de reducción a temperatura programada que evidenciaron que hay una reducción parcial de especies de Fe oxidadas en contacto con partículas de Pt debido a una posible interacción Pt-O-Fe. Por otra parte, una caracterización de la superficie específica y la porosidad de los materiales mostró que estas propiedades no se vieron afectadas por la calcinación y posterior reducción. Sin embargo, la disminución del área superficial de los catalizadores con respecto a la del soporte se explica considerando que las partículas metálicas llenan espacios disponibles en la sílice. El método de síntesis implementado permitió la obtención de catalizadores bimetalicos Pt-Fe soportados en sílice de baja porosidad activos y selectivos en la combustión de metano a  $500^{\circ}\text{C}$ . Además, se propone una fuerte interacción Pt-Fe en el catalizador con carga metálica equimolar lo que ocasionaría un efecto sinérgico.

**Palabras clave:** Combustión de metano, PtFe/SiO<sub>2</sub>, impregnación electrostática fuerte, bimetalico.

## Diseño de un proceso de síntesis de catalizadores Au-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para combustión de metano

Mery S. Hernández-Maya<sup>1</sup>, Edwing A. Velasco-Rozo<sup>1</sup>, Víctor G. Baldovino-Medrano<sup>\*1,2</sup>,

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones en Catálisis (@CICAT UIS), <sup>2</sup>Laboratorio de Ciencia de Superficies (#SurfLab-UIS), Parque Tecnológico Guatiguará (PTG), Km. 2 vía El Refugio, Universidad Industrial de Santander, Piedecuesta (Santander), 681011, Colombia

\*Autor de correspondencia: [vicbaldo@uis.edu.co](mailto:vicbaldo@uis.edu.co)

### Resumen

La combustión catalítica para eliminación de metano sigue siendo un tema de interés para reducir emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Para combustión, los catalizadores reconocidos con mejor desempeño contienen metales nobles como fase activa. El creciente interés por los catalizadores basados en nanopartículas de oro soportadas, para reacciones de oxidación de hidrocarburos, se debe a que pueden requerir menores temperaturas de reacción y presentar mayor selectividad hacia CO<sub>2</sub>, además de que el oro es un metal más abundante y de menor costo que el paladio, por ejemplo. La reactividad de los catalizadores de oro soportados obedece 2 aspectos esenciales: 1. Tama-

ños de partícula inferior a 5 nm, y 2. Interacción metal-soporte. Con respecto al soporte, la alúmina es muy utilizada por su capacidad de área superficial y disponibilidad de hidroxilos en superficie. Por otro lado, se ha demostrado que el óxido de hierro, por su capacidad de óxido-reducción, podría ser implementado como promotor, aportando estabilidad y disminución de costos de la fase activa. De acuerdo con lo anterior, se propone diseñar un proceso de impregnación secuencial Au-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, analizando en cada etapa las condiciones necesarias como punto de cero-carga (PZC), concentración de hidroxilos en superficie ([OH]/nm<sup>2</sup>) y perfiles termogravimétricos (TGA). Se contempla una etapa de adsorción aniónica, en donde se controle que los iones de oro en solución se depositen sobre los hidroxilos disponibles; con el fin de promover una distribución uniforme del oro sobre el soporte e interacciones íntimas entre los metales.

Se obtuvieron catalizadores activos con conversiones de metano > 95% a 750°C y selectivos hacia CO<sub>2</sub>. Se está investigando la influencia de la relación Au/Fe y la interacción metal-soporte sobre las propiedades catalíticas de los materiales sintetizados.

**Palabras clave:** Combustión de metano, Au-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>, interacción metal-soporte, nanopartículas.

## Análisis piloto de calidad del agua de un tramo del río pasto mediante inferencia difusa

*Mario A. Jurado Erasol, Viviana Quintero Dallos<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación GIA, Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana, Calle 18 #No. 34 - 104, Pasto- Nariño.

\*Autor de Correspondencia: [viquintero@umariana.edu.co](mailto:viquintero@umariana.edu.co)

### Resumen

El principal objetivo del presente trabajo fue realizar un análisis ecotoxicológico de la calidad del agua del río Pasto en el tramo La Playita – Puente la Carolina, un área caracterizada por la actividad agropecuaria que discurre por su cuenca alta de alta. Para ello, se aplicó un índice de calidad de agua multiparámetros basado en lógica difusa (FWQ). Se incluyeron variables como la concentración de plaguicidas organofosforados, organoclorados y carbamatos; así como, algunos parámetros fisicoquímicos de calidad de agua y sedimentos, y se determinó la

toxicidad aguda de muestras de agua y sedimentos utilizando bacterias bioluminiscentes *Vibrio fischeri*. Los valores del FWQ, sugieren que posiblemente la calidad del agua del río Pasto en el tramo de estudio, puede verse reducida por la presencia de compuestos orgánicos complejos; entre ellos los plaguicidas derivados de actividades agropecuarias sin regularidad definida en esta zona y que estarían habitualmente transfiriéndose entre las matrices agua/sedimentos durante todo el año. Esta situación podría estar poniendo en riesgo la salud humana y la de los ecosistemas, en relación con el uso del agua en este tramo del río. Los resultados, además, sugieren que esta puede ser una herramienta no convencional suficientemente robusta para la gestión de las corrientes superficiales en la región y permitiría reducir la incertidumbre y la imprecisión en el criterio.

**Palabras clave:** Ecotoxicidad, Lógica Difusa, Plaguicidas, río Pasto, Sedimentos, *Vibrio fischeri*.

## Evaluación de la sostenibilidad de organizaciones prestadoras del servicio de acueducto en el sector rural de la exprovincia de Obando - Nariño

Paola Andrea Ortega Guerrero<sup>1</sup>, Viviana Quintero Dallos<sup>1\*</sup>, Gloria Lucia Cardenas Calvachi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Ambiental (GIA, Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana, Calle 18 No. 34-104 Pasto (N).

\*Autor de Correspondencia: [viquintero@umariana.edu.co](mailto:viquintero@umariana.edu.co)

### Resumen

En Colombia, Mantilla, (2016), reporta que existe un desequilibrio marcado entre el sector urbano y rural, en cuanto a cobertura y a calidad del agua. Esta disparidad se atribuye principalmente a las características propias del sector rural, tales como: dispersión de las viviendas, limitaciones geográficas para el acceso, bajo nivel socioeconómico de los habitantes y dificultades para el ofrecimiento de asistencia técnica. En este sentido, el suministro de agua potable en condiciones de calidad, continuidad y cobertura en el área rural ha sido deficiente y a pesar de que se han implementado tratamientos para proveer agua segura a la población, estas no han sido sostenibles y la efectividad del tratamiento es mínima (Restrepo,2010). Por lo descrito, esta investigación tuvo como objetivo evaluar la sostenibilidad de diez organizaciones prestadoras del servicio de acueducto rural, teniendo en cuenta los criterios técnicos, social/ambiental y administrativo/

financiero, en el marco de un convenio interadministrativo, entre El Ministerio de Relaciones Exteriores, La Gobernación de Nariño – Plan Departamental de Agua, El Instituto Departamental de Salud de Nariño y La Universidad Mariana. Para ello, se empleó la metodología de análisis multicriterio y el procedimiento de Panthie & Battarai, (2018), para jerarquizar los criterios que inciden en la sostenibilidad y categorizar la sostenibilidad de la muestra de estudio. Como principal resultado se obtuvo que las organizaciones prestadoras del servicio, se categorizan como parcialmente sostenibles. Sin embargo, la Asociación J.A.A.Vereda Tequez Urumbú y el Acueducto de Cutuaquer, tienden a ser no sostenibles. Lo anterior por cuanto estas organizaciones, no tienen un sistema de tratamiento correspondiente con la calidad del agua, tienen una valoración baja en el factor instrumentación y medición y en el componente que tuvo mayor importancia, el cual fue el criterio social – ambiental, tienen puntajes bajos, principalmente por la desprotección del punto de toma de agua y porque presentan contaminación de la fuente abastecedora a causa de basuras de hogares o por aguas servidas.

**Palabras clave:** sostenibilidad, acueductos rurales, organizaciones comunitarias, análisis multicriterio.

## Biosorption of malachite green from aqueous solutions onto red algae *Gracilaria sp.*: kinetic and equilibrium studies

*Ildelfonso Baldiris-Navarro\**, *Jorge Sanchez*, *Alianys Cafiel*, *Alvaro Malo*  
Grupo de Investigación Sena-Cinaflup, Programas Ambientales, SENA CINAFLUP,  
Mamonal Km 5, Cartagena, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [ibaldiris@gmail.com](mailto:ibaldiris@gmail.com)

### Resumen

Dyes and pigments like Malachite Green and others are used in various industries like pharmaceutical, textile, paper, pulp, printing, cosmetics and food processing industries. Synthetic dyes are poisonous, carcinogenic and mutagenic, which produce some risks to human health. Hence, removal of dyes should be necessary before discarding the wastewater into water sources. In this paper, red algae *Gracilaria sp.* was collected as natural sea biomass and used as a low-cost biosorbent for batch adsorptive removal of the cationic dye malachite green (MG) from synthetic dye solutions. Fourier transform infrared (FTIR) spectrometer, scanning

electron microscope (SEM) were used to characterize the morphology and structure of pristine and doped algae. Functional groups of the *Gracilaria sp.* responsible for the biosorption process and the adsorption of MG on red algae was confirmed by Fourier transform infrared spectroscopy. SEM micrographs showed homogeneous and porous surface morphologies of the adsorbent particles. Effects of pH (2.5–9.5), adsorbent dose (0.1–2 g/L), initial adsorbate concentration (25–150 mg/L) and contact time (0–120 min) on adsorption were studied. Results showed that the optimum pH is 6.5, the doses should be 0.7 g of biomass. The experimental equilibrium data have been analyzed using the linearized forms of Langmuir, Freundlich, Temking and Dubinin-Radushkevich (D-R) isotherms and the Langmuir isotherm was found to provide the best theoretical correlation. Kinetic data was analyzed using pseudo first order, pseudo second order, intraparticle diffusion and Elovich kinetic models. Kinetic characteristics of MG adsorption followed pseudo-second order kinetics. The experimental data recommended that the red algae *Gracilaria sp.* biomass is a prospective biosorbent for the removal of Malachite Green from aqueous phase.

**Palabras clave:** Malachite Green, biosorption, kinetic, equilibrium, *Gracilaria sp.*

## Optimización multiobjetivo del proceso secuencial coagulación/floculación-fenton para el tratamiento del agua residual industrial textil

J David Quintero<sup>1\*</sup>, Miguel-Ángel Gómez<sup>2</sup>, Izabela Dobrosz-Gómez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PRISMA: Grupo de Investigación en Procesos Reactivos Intensificados y Materiales Avanzados.

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, Campus La Nubia, Manizales, Caldas, Colombia.

<sup>3</sup>Departamento de Física y Química, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, Campus La Nubia, Manizales, Caldas, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [jdquintero@unal.edu.co](mailto:jdquintero@unal.edu.co)

### Resumen

En Colombia el 83% población no tiene acceso al agua potable, el 51% del recurso hídrico está en trámites por definir, el 49% de los municipios del país no cuentan con planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y de aquellos que la tienen, el 16% no funciona apropiadamente; además, el 20.46% del suelo presenta escasez en suministro (zonas secas). A estas circunstancias se suma el hecho que a los cuerpos hídricos se vierten desechos de origen doméstico, in-

dustrial y/o agrícola, que pueden propiciar mutaciones genéticas, enfermedades y, en algunos casos, la muerte de plantas, animales e incluso seres humanos. La industria textil en Colombia ha jugado un papel fundamental en el desarrollo económico del país. Sin embargo, no es posible ocultar el impacto negativo que sus aguas residuales generan en el medio ambiente, dado que los procesos convencionales de tratamiento utilizados por la industria (p. e., Coagulación-floculación, filtración, adsorción y biodegradación) no son completamente eficientes para aguas residuales que contienen colorantes (Chung, 2016 ; Lucas, 2009; Mathur et al., 2003). En este trabajo, se examinó el proceso secuencial de coagulación/floculación-Fenton como una alternativa para el tratamiento de aguas residuales industriales contaminadas con colorante negro, entre otras sustancias, procedentes de una planta textil ubicada en la región cafetera colombiana.

El efluente estudiado se caracteriza por una Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 3600 mg/L, concentración de colorante negro de 1000 mg/L y número de color (CN, medido en las siguientes longitudes de onda: 436, 525, 620 nm) de 1250. Tales características del efluente no cumplen con los estándares ambientales colombianos para las aguas residuales textiles (Resolución 0631 de 2015). Se utilizó la Metodología de superficie de respuesta (RSM) basada en un diseño experimental central compuesto para optimizar las condiciones operativas del proceso secuencial Coagulación/floculación-Fenton. Los experimentos se llevaron a cabo en un reactor por lotes a escala de laboratorio a temperatura ambiente. Se consideraron las siguientes variables independientes para los procesos individuales: en el caso de la coagulación/floculación: concentración del coagulante [7-22] g/L y cal [3-9] g/L; y para el proceso Fenton: concentración de peróxido de hidrógeno,  $[H_2O_2] = [1500- 9600]$  mg/L, concentración de hierro,  $[Fe^{2+}] = [75-2500]$  mg/L y pH = [2-6]. Se analizaron las siguientes variables de respuesta: remoción de DQO, color, CN y concentración de colorante (CC), así como los costos operativos totales. La optimización multiobjetivo condujo al establecimiento de las condiciones de coagulación/floculación-Fenton más efectivas correspondientes a: concentración coagulante = 16.09 g/L y cal = 5.16 g/L y para el Fenton:  $[H_2O_2] = 2621$  mg / L,  $[Fe^{2+}] = 2500$  mg / L y pH = 6. Con el esquema secuencial se logró una reducción global del DQO, color, CN y CC de 87,76%, 97,73%, 94,79%, y 98,81%, respectivamente; con unos costos operativos de \$ 11,49 USD/m<sup>3</sup>.

**Palabras clave:** Coagulación/floculación, Fenton, colorante negro ácido, agua residual industria textil.

## CAPÍTULO X: Materiales

---

*Líder de línea temática:*

**Mary Judith Arias Tapia**

Universidad Tecnológica de Bolívar

La ingeniería química en Colombia ha centrado esfuerzos en la síntesis de materiales multifuncionales para aplicaciones de energía, construcción, alimenticia, empaquetamiento y medio ambiente. Las tendencias recientes involucran metodologías de síntesis a escala nanométrica para mejorar las propiedades físico-químicas, morfológicas y estructurales de los materiales. Se han incorporado también tecnologías de química verde para la obtención de nanocompuestos y partículas magnéticas. Los resúmenes presentados en este capítulo presentan protocolos de preparación de materiales a partir de quitosano, nanopartículas, almidón, celulosa bacteriana, nanoestructuras de celulosa y resinas. Estas investigaciones incluyeron técnicas de caracterización para determinar propiedades como viscosidad, tamaño de partícula, resistencia, cristalización y composición.

## Obtención de un carbon activado como catalizador a partir de la cascara de la naranja

*Brandon Smith Martínez Costa<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Programa de Ingeniería Química,  
Universidad de Pamplona

\*Autor de correspondencia: [brandonmartinez664@gmail.com](mailto:brandonmartinez664@gmail.com)

### Resumen

El carbón activado está caracterizado por contener una cantidad muy grande de microporos, lo que facilita la adsorción de componentes orgánicos presentes en un gas o un líquido. El siguiente trabajo, tiene como objetivo utilizar la cascara de la naranja para la obtención de un carbón activado rico en potasio. Para ello, se procedió a realizar el secado de las cascara de la materia prima, esto es, con la idea de reducir el porcentaje de humedad; seguidamente, se llevó a cabo un proceso impregnación química a través de ácido fosfórico para la disminuir la formación de material volátil. Finalmente, se realizó un lavado y proceso de secado al horno hasta obtener dicho carbón.

**Palabras Clave:** Cascara de naranja, catalizador, activación química, carbón activado, sostenibilidad.

## Caracterización de la celulosa obtenida a partir de la cáscara del *Solanum betaceum Cav* (tomate de árbol)

*<sup>1</sup>Luz Daniela Ríos Basto, <sup>1</sup>Anderson Galvis González,*

*<sup>1</sup>Melvin Aroldo Duran, <sup>2</sup>Jeffrey León-Pulido*

<sup>1</sup>Industrial Chemistry Program, Technological University of Pereira, Colombia,  
Cra 27 No 10-02, Pereira, Colombia

<sup>2</sup>Chemical Engineering Program, EAN University, Bogotá-Colombia

\*Autor de correspondencia: [jleonp@universidadean.edu.co](mailto:jleonp@universidadean.edu.co)

### Resumen

En la actualidad, el aprovechamiento de los residuos y los recursos son objeto de estudio a lo largo del mundo. La industria del plástico ha dado apertura a los biopolímeros, materiales obtenidos de fuentes renovables que procuran la disminución del impacto ambiental por el uso de los plásticos tradicionales. El obje-

tivo de este trabajo busca aportar al potencial de aprovechamiento e innovación en materias primas, subproductos y residuos agroindustriales de la región cafetera para la obtención de biopolímeros. En consecuencia, un estudio sobre la obtención y caracterización de celulosa a partir del *Solanum betaceum* Cav (tomate de árbol) considerando siete etapas en el proceso: el pre-acondicionamiento de las fibras, la extracción por técnica *Soxhlet*, el lavado del extracto, un tratamiento con solución ácida de  $\text{CH}_3(\text{COOH})$  y  $\text{HNO}_3$ , un tratamiento alcalino empleando; finalmente, lavado, filtrado, secado y molienda. El análisis de las muestras fue realizado a partir de microscopía electrónica de barrido (MEB), espectroscopia infrarroja (FTIR) y análisis termogravimétrico (TGA, DSC). Mediante la técnica MEB fue determinada la morfología de partículas fibrosas irregulares, en comparación con partículas semejantes a las de referencia comercial (Avicel). Los elementos identificados correspondientes a la estructura de la celulosa fueron el C y O, además del Na; Otros elementos como el P, S, Al y Ba fueron identificados como aporte del tipo de suelo de procedencia del *Solanum betaceum* Cav. Finalmente, los espectros FTIR presentan picos de absorción característicos para la celulosa como resultado del proceso de obtención de celulosa, con propiedades y potencial de uso en el desarrollo de nuevos materiales, aceites especiales, entre otros.

## Modificación de resinas poliéster insaturado usando monómeros de fuentes renovables

David Echeverri<sup>1</sup>, Fabian Navarro<sup>1</sup>, Daniel H. Builes<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación y Desarrollo, Andercol, Medellín, Colombia,

\*Autor de correspondencia: [daniel.builes@andercol.com.co](mailto:daniel.builes@andercol.com.co)

### Resumen

Existe una tendencia cada vez mayor a modificar los polímeros termoestables o con materias primas derivadas de fuentes renovables. El resultado es una mayor biodegradabilidad, y en algunos casos propiedades diferenciadas respecto a las resinas convencionales. En este trabajo se sintetizaron monómeros de fuentes vegetales. Estos monómeros se emplearon como sustitutos de los monómeros convencionales de origen petroquímico para fabricar resinas poliéster insaturado ortoftálicas. Luego de la modificación química, las resinas de poliéster insaturado resultaron ser más flexibles respecto a las resinas convencionales, con módulos entre 2.5-3.5 GPa, esfuerzos de deformación a rotura 96-116 MPa y durezas entre

39 - 41 (Barcol). Estas propiedades dependieron del grado de insaturación y del contenido de monómeros verdes.

**Palabras Clave:** poliéster insaturado, polímero renovable, química verde

## Epoxidación de aceite de ajonjolí y su aplicación como agente acoplante de una mezcla de almidón termoplástico de ñame y ácido poliláctico

*Nicolás Piñeros-Guerrero<sup>1</sup>, Dalgido Rojano-Quiroz<sup>2</sup> y Rodrigo Ortega-Toro<sup>2\*</sup>*

<sup>1</sup>Maestría en Ingeniería Química, Food Packaging and Shelf Life Research Group (FP&SL) and Grupo de Investigación Ingeniería de Fluidos Complejos y Reología de Alimentos (IFCRA), Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado, Calle 30 No. 48 152, Cartagena de Indias D.T. y C., Colombia, 130015.

<sup>2</sup>Programa de Ingeniería de Alimentos, Food Packaging and Shelf Life Research Group (FP&SL) and Grupo de Investigación Ingeniería de Fluidos Complejos y Reología de Alimentos (IFCRA), Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado, Calle 30 No. 48 152, Cartagena de Indias D.T. y C., Colombia, 130015.

\*Autor de correspondencia: [rortega@unicartagena.edu.co](mailto:rortega@unicartagena.edu.co)

### Resumen

En este estudio, se realizó la epoxidación aceite de sésamo por reacción con ácido peroxycarboxílico formado *in situ*, se evaluó el efecto de la concentración de peróxido de hidrógeno y ácido acético sobre el grado de epoxidación del aceite. Posteriormente, este aceite epoxidado de sésamo (SEO) se aplicó como compatibilizador de una mezcla de ácido poliláctico (PLA) y almidón termoplástico (TPS) de ñame para obtener películas mediante extrusión y moldeo por compresión. Se encontró que la concentración de ácido acético y peróxido de hidrógeno afecta significativamente la epoxidación de las insaturaciones presentes en el aceite, la humedad residual, la densidad y el índice de acidez. Al adicionarse como aditivo a una mezcla de almidón termoplástico de ñame y ácido poliláctico se observaron mejoras en las propiedades estructurales, mecánicas y de barrera, lo cual indica su eficiencia como agente compatibilizante de esta matriz polimérica.

**Palabras Clave:** Aceite vegetal, Modificación química, Polímero biodegradable, Agente compatibilizante

## Extracción de lignina de la biomasa residual del ñame espino (*dioscorea rotundata*) para su potencial aplicación en la síntesis de nanopartículas con efecto anticorrosivo

Mariana Tejada Prieto<sup>1</sup>, Sthefania Franco Ramirez<sup>1</sup>, Karina Ojeda Delgado<sup>1</sup>,\*

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena. Cartagena de Indias, Colombia

\*Autor de correspondencia: [kojedad@unicartagena.edu.co](mailto:kojedad@unicartagena.edu.co)

### Resumen

La actual crisis ambiental ha aumentado el interés en la investigación sobre nuevos procesos para la obtención de productos ecológicos, entre ellos se destaca el aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica, considerada actualmente como un residuo, ignorando su alto potencial para el desarrollo de productos de alto valor. Por lo tanto, ésta investigación tiene como propósito la extracción de lignina presente en la cáscara de ñame (*Dioscorea rotundata*); cuya estructura aromática polifenólica brinda carácter antioxidante, potencializando su aplicación en la síntesis de nanopartículas con efecto anticorrosivo, las cuales podrían reemplazar los anticorrosivos tóxicos de uso común.

Se realizó un pretratamiento alcalino y una precipitación ácida con  $H_2SO_4$  para la obtención y recuperación de la fracción de lignina presente en la cáscara, evaluando la concentración de NaOH y la relación sólido:líquido como variables en el rendimiento y pureza de ésta. Se realizó un análisis cualitativo de grupos fenólicos presentes en la lignina mediante espectroscopia Uv-VIS, encontrando las mejores características para las condiciones de reacción 11%p/v NaOH y 1:15 solido: líquido.

**Palabras Clave:** Lignina, pretratamiento alcalino, nanopartículas, anticorrosivo.

## Biodiesel a partir de sebo vacuno: un mapeo tecnológico de patentes

Paulo da Silva<sup>1\*</sup>, Eliana Alhadef<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Grupo de Investigación en Ingeniería Química, Departamento de Ingeniería Bioquímica, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Centro tecnológico - Avenida. Athos da Silveira Ramos, 149 – Escola de Química - Bloco E - Sala E-201 – Ilha do Fundão, Rio de Janeiro – Brasil, CEP:21941-909

\* Autor de correspondencia: [roberto1silva@yahoo.com.br](mailto:roberto1silva@yahoo.com.br)

### Resumen

El sebo vacuno es un subproducto del proceso de sacrificio de animales, en el que se puede utilizar para diferentes fines, como industrias alimentarias, cosméticos y como suplemento en la alimentación animal. Con el advenimiento de las tecnologías de producción de biocombustibles, este tipo de grasa animal se ha vuelto relevante en la producción de biodiesel. Este trabajo tiene como objetivo llevar a cabo un mapeo tecnológico de las patentes que han empleado el sebo bovino para la producción de biodiesel durante un período de diez 10 años (i.e., 2009-2019). Para ello, el enfoque metodológico se desarrolló a través de una encuesta bibliográfica y un análisis de contenido, en el que se utilizaron palabras clave en las bases de datos de la *European Patent Office* (Espacenet) y *Derwent Innovations Index* (DII). Después de un examen inicial, se encontraron 34 patentes distribuidas en 8 familias de patentes principales, siendo China el mayor depositario de estas tecnologías. La investigación también mostró tres temas principales cubiertos, a saber: catalizadores, pretratamiento y producción de biodiesel a partir de sebo vacuno, el último correspondiente al 58.8% (20 patentes) del contenido revisado. Además, se recomienda un mapeo más profundo de otras tecnologías para minimizar las limitaciones físico-químicas del sebo de res para generar biodiesel de mejor pureza y calidad.

**Palabras Clave:** biocombustible, grasa animal, desarrollo tecnológico

## Obtención y caracterización de almidón de papa para aplicación como recubrimiento comestible de agraz

*carolina Medina-Jaramillo<sup>1</sup>, Santiago Estevez-Areco<sup>2</sup>, Silvia Goyanes<sup>2</sup>, Alex López-Córdoba\**

<sup>1</sup>Escuela de Administración de Empresas Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Facultad Seccional Duitama. Duitama, Colombia

<sup>2</sup>Departamento de Física, Laboratorio de Polímeros y Materiales Compuestos (LP&MC). Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

\*Autor de correspondencia: alex.lopez01@uptc.edu.co

### Resumen

La producción de papa es una de las actividades agropecuarias que más empleo e ingresos genera en Colombia, siendo Boyacá el segundo departamento con más producción a nivel nacional. Sin embargo, anualmente se generan altos volúmenes de pérdidas poscosecha de este tubérculo y poco se ha estudiado acerca de la obtención de almidones de papa de variedades de papa colombianas mejoradas, como la R-12 (o Diacol Capiro). El objetivo del presente trabajo fue extraer y caracterizar almidones obtenidos a partir de papas R-12 para su aplicación como recubrimientos comestibles sobre frutos de agraz. Se emplearon papas previamente seleccionadas, clasificadas y lavadas. Estas se pelaron manualmente, se rallaron y la pulpa obtenida se mezcló con agua potable. La mezcla se filtró y se dejó decantar para separar el almidón, el cual fue secado a 40°C por 4 h. Se obtuvieron rendimientos de extracción de almidón de 10%. Estos fueron caracterizados mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y difracción laser, observando gránulos con forma elipsoidal y con tamaños promedio de 18 µm. La determinación del contenido de amilosa se realizó formando complejos yodo-amilosa, obteniendo valores de 18 % p/p. Se prepararon soluciones formadoras de película a base del almidón de papa (2% p/p), glicerol y agua y se aplicaron sobre frutos de agraz mediante inmersión y secado. Se evaluaron los atributos de calidad de los frutos sin y con recubrimiento al inicio y después de 12 días de almacenamiento. Se observó que los frutos recubiertos con almidón mostraron mayor brillo y mejor apariencia que los frutos sin recubrir. Además, los frutos sin y con recubrimiento mostraron inicialmente valores de pH y acidez titulable de 2,5 y 2%, respectivamente. Al final del almacenamiento, la acidez de los frutos disminuyó hasta 1,5%, mientras que el pH de las muestras se mantuvo. En el caso del contenido de sólidos solubles ambas muestras mostraron un incremento alrededor del 44%. Estos resultados sugieren que la aplicación de recubrimientos

de almidón de papa constituye una estrategia simple, versátil y de bajo costo para dar valor agregado y mejorar la calidad de frutos de agraz.

**Palabras Clave:** Carbohidratos, Materiales biodegradables, Agraz, agregado de valor

## Recubrimientos a base de quitosano como alternativa de agregado de valor a frutos silvestres de agraz

*carmen Rosa Quintero-Pimiento, Carolina Medina-Jaramillo, Alex López-Córdoba\**

<sup>1</sup>Escuela de Administración de Empresas Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Facultad Seccional Duitama. Duitama, Colombia

\*Autor de correspondencia: [alex.lopez01@uptc.edu.co](mailto:alex.lopez01@uptc.edu.co)

### Resumen

Los arándanos son frutos de alto valor económico cuyo consumo ha venido incrementándose en los últimos años debido a sus beneficios saludables. *Vaccinium corymbosum* es una de las variedades más comerciales del género. Sin embargo, existe una gran diversidad de arándanos silvestres con propiedades bioactivas similares, pero con muy poco aprovechamiento a nivel comercial, como es el caso del agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz). Estos frutos se deterioran rápidamente luego de la cosecha y son susceptibles a daños mecánicos, pérdida de agua, y a crecimiento microbiano. La aplicación de recubrimientos comestibles constituye una alternativa para conservar la calidad de los alimentos. Estos materiales actúan como una capa protectora externa reduciendo el daño mecánico, la tasa de respiración y la deshidratación de los frutos. Los biopolímeros son considerados materiales promisorios para el desarrollo de películas y recubrimientos para la preservación de alimentos. Entre ellos, los carbohidratos, como el quitosano, han sido ampliamente empleados porque son abundantes y relativamente de bajo costo.

En el presente trabajo, se propone el uso de recubrimientos de quitosano como una alternativa eco-compatible para darle valor agregado a frutos de agraz. Se prepararon mezclas a base de quitosano (2%), glicerol (30 % base biopolímero) y agua acidificada y se aplicaron como recubrimientos sobre los frutos, mediante inmersión y secado. Los frutos se almacenaron (4°C, 21 días) y se monitorearon periódicamente. Se encontró que los recubrimientos de quitosano mejoraron la

aparición de los frutos, incrementando su luminosidad; mientras que estos no afectaron el contenido de sólidos solubles (14 °Brix), el pH (2.7), la acidez titulable (2%), ni la pérdida de agua (9%) de los mismos. Además, los frutos recubiertos mostraron un descenso importante en su tasa de respiración, en relación a los frutos sin recubrir. En este sentido, los frutos recubiertos mostraron tasas de respiración 26% y 37% más bajas que los frutos sin recubrir, al inicio y al final del almacenamiento, respectivamente.

**Palabras Clave:** Biopolímeros, recubrimientos comestibles, frutos silvestres, agregado de valor

## Películas y recubrimientos comestibles a base de almidón de papa y carvacrol para aplicación potencial en el envasado activo de alimentos

*Carolina Medina-Jaramillo<sup>1</sup>, Carmen Rosa Quintero-Pimiento<sup>1</sup>, Silvia Goyanes<sup>2</sup>, Alex López-Córdoba<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Escuela de Administración de Empresas Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Facultad Seccional Duitama. Duitama, Colombia

<sup>2</sup>Departamento de Física, Laboratorio de Polímeros y Materiales Compuestos (LP&MC), Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

\*Autor de correspondencia: alex.lopez01@uptc.edu.co

### Resumen

El desarrollo de envases activos es una tendencia actual en conservación de alimentos. A través del empleo de este tipo de materiales, es posible prolongar la vida útil de los productos y/o mejorar sus características sensoriales. El objetivo del presente trabajo fue desarrollar materiales biodegradables a base de almidón de papa y carvacrol (un antioxidante y antimicrobiano natural) para su aplicación potencial en el envasado activo de alimentos. Se prepararon películas y recubrimientos comestibles a partir de mezclas de almidón (2% p/v), carvacrol (0, 0.03 y 0.06%), Tween 80, glicerol y agua. Las películas fueron caracterizadas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), análisis termogravimétrico y espectroscopia de infrarrojo. Las películas de almidón, sin y con agregado de carvacrol, mostraron una estructura compacta; sin poros ni grietas. Además, las películas con carvacrol mostraron un menor porcentaje de degradación en el rango de temperaturas entre ~180°C y 260°C (i.e. fase rica en glicerol) y entre ~255 °C y 350 °C (i.e. fase rica en almidón). Todas las películas mostraron espectros IR ca-

racterísticos de películas de almidón plastificadas con glicerol. Adicionalmente, las películas adicionadas de carvacrol mostraron bandas localizadas a  $1515\text{ cm}^{-1}$ ,  $1750\text{ cm}^{-1}$  y  $1714\text{ cm}^{-1}$ . Finalmente, se evaluaron las propiedades antimicrobianas de las películas con carvacrol aplicándolas como un recubrimiento sobre frutos de agraz. Se evaluó el recuento de aerobios mesófilos y de mohos y levaduras de los frutos a tiempo inicial y luego de 21 días de almacenamiento a  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Inicialmente, los frutos con recubrimiento mostraron menores recuentos de mohos y levaduras, que los frutos sin recubrir. Mientras que solo los frutos recubiertos con almidón y carvacrol al 0.06% mostraron una reducción en el recuento de aerobios mesófilos, inclusive luego de 7 días de almacenamiento. Luego todas las muestras mostraron un incremento gradual en el recuento microbiano, sin alcanzar el umbral de deterioro luego de 21 días de almacenamiento.

**Palabras Clave:** Biopolímeros, Películas activas, Recubrimientos comestibles, Conservación, Biodegradabilidad

## Lignina y aplicaciones: métodos de obtención de nanopartículas de lignina con efecto anticorrosivo

Mariana Tejada Prieto<sup>1</sup>, Sthefania Franco Ramirez<sup>1</sup>, Karina Ojeda Delgado<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena. Cartagena de Indias, Colombia.

\*Autor de correspondencia: [kojedad@unicartagena.edu.co](mailto:kojedad@unicartagena.edu.co)

### Resumen

El aprovechamiento de residuos agroindustriales para la síntesis de nanopartículas de lignina (LNPs) es un tema de gran interés investigativo debido a las características amigables con el medio ambiente que estas poseen, como son la biodegradabilidad y la no-toxicidad, haciéndolas propicias para su aplicación en diversos campos, tanto ambientales como de ingeniería, generando una opción eco-amigable para solventar problemas en temas como la contaminación y la corrosión de los materiales.

A nivel mundial, la corrosión, el desgaste de los materiales, y la contaminación generada por los residuos de los anticorrosivos comerciales representan pérdidas económicas en todos los aspectos para las industrias, por tal razón, los métodos de síntesis y aplicación de las LNPs con propiedades anticorrosivas son el objeto

de estudio de la presente revisión, donde se exponen las más recientes investigaciones en el tema, describiendo metodologías y resultados de las características de las nanopartículas y su efecto sobre superficies metálicas expuestas a ambientes altamente corrosivos.

**Palabras Claves:** Lignina, Nanopartículas, Anticorrosivo

## Estudio reológico de geles y soluciones de almidón y su relación con propiedades estructurales

*Alejandro Serrano<sup>1</sup>, Jairo E. Perilla<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en procesos químicos y bioquímicos, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, AV CR 30 #45-03, Bogotá D.C., 111321

\*Autor de correspondencia: [jeperillap@unal.edu.co](mailto:jeperillap@unal.edu.co)

### Resumen

La necesidad de reducir el impacto negativo que tiene sobre el medio ambiente el uso inadecuado que se da a los materiales poliméricos derivados de hidrocarburos, ha llevado a que en años recientes se incremente el interés en la investigación y desarrollo de alternativas que provengan de fuentes renovables y que sean biodegradables. En ese sentido, el almidón ha surgido como un importante sustituto debido a sus características de biodegradación; sin embargo, sus bajas propiedades mecánicas han dado lugar a técnicas de mejoramiento a partir de procesos químicos, físicos y enzimáticos. Por otro lado, históricamente la reología ha sido utilizada como herramienta para caracterizar materiales complejos y poliméricos no solo en términos de cómo éstos se deforman y fluyen sino también en términos de su estructura molecular; las motivaciones han sido tanto teóricas como prácticas, ejemplo de esto último es entender y modelar los procesos de transformación a nivel industrial, así como el desempeño de un material o producto bajo ciertas condiciones de uso. En este trabajo de investigación se estudió el comportamiento reológico de hidrogeles y soluciones de almidón y se evaluó el efecto que tienen sobre éste el grado de ramificación, la relación amilosa/amilopectina y los procesos de gelatinización y disolución característicos de cada especie. El análisis reológico se llevó a cabo usando un reómetro rotacional con geometría de placas paralelas y cono y plato. El grado de ramificación se evaluó mediante resonancia nuclear magnética (NMR), y los procesos

de gelatinización/disolución se estudiaron mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) y apoyados en técnicas de microscopía óptica, esto último con el fin de establecer diferencias entre los procesos de gelatinización para las diferentes especies y verificar el grado de disolución de los gránulos. El carácter elástico de los geles de almidón es más importante en la especie con menor contenido de amilosa, esto contradice en parte la evidencia encontrada en la literatura; sin embargo, dicho comportamiento se puede explicar en términos de la morfología de los geles estudiada a través de microscopía óptica, en donde a partir de las imágenes obtenidas, se observa que a diferencia de la especie con mayor contenido de amilosa, la desaparición completa de los gránulos no es posible y por tanto los sólidos remanentes contribuyen al carácter elástico del material. Las soluciones de almidón en dimetil sulfóxido muestran que a pesar de no presentar diferencias considerables en su comportamiento reológico, la especie con mayor contenido de amilosa tiene mayor carácter elástico, en este caso el mecanismo de solvatación permite la liberación completa de los componentes del gránulo hacia la fase continua. En términos del grado de ramificación, fue posible establecer que a medida que éste valor aumenta tanto el carácter elástico como viscoso de la solución también lo hacen.

**Palabras Clave:** Reología, almidón, geles, DMSO, propiedades estructurales

## Pesticide elimination using iron doped TiO<sub>2</sub> supported on coconut palm spathe under solar radiation

*Ricardo Solano<sup>1</sup>, Adriana Herrera<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Nanomaterials and Computer Aided Process Engineering Research Group,  
Doctorate in Engineering Program, Universidad de Cartagena, Piedra de Bolívar Campus,  
Street 30 #48-152, Office D307

\*Autor de correspondencia: [rsolanop@unicartagena.edu.co](mailto:rsolanop@unicartagena.edu.co)

### Abstract

Cypermethrin (Class II, moderately dangerous) causes human health problems related to immunosuppression, hormonal alteration, diminished intelligence, reproductive anomalies and cancer. In the studies carried out in this area, only 0.1% of the pesticide used reaches the target pest and 99.9% is dispersed in the environment through routes such as runoff and erosion, leaching, drainage and

discharges of pesticide production plants. TiO<sub>2</sub> nanoparticles were synthesized by the method of Green Chemistry assisted by ultrasound using aqueous extract of lemon grass (*Cymbopogon citratus*) and modified with Fe<sup>+3</sup> atoms by means of Chemical Impregnation, while the immobilization of the nanoparticles on Coconut palm spathe was carried out through the Doctor Blade technique. The concentration of cypermethrin was determined after 12000 J/m<sup>2</sup> of accumulated radiation from GC-MS, the powder materials was characterized by X-ray diffraction (XRD), Transmission electron microscopy (TEM) image and selected area electron diffraction (SAED), Raman spectroscopy, Cathodoluminescence, Photoluminescence, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), UV-Vis spectrophotometry of diffuse reflectance and BET surface area, while composite materials (coconut palm spathe/catalyst) were analyzed through Scanning electron microscopy (SEM). The XRD pattern shows ten distinct peaks at  $2\theta = 25.61^\circ, 37.8^\circ, 38.10^\circ, 48.47^\circ, 54.24^\circ, 55.36^\circ, 62.99^\circ, 69.20^\circ, 70.59^\circ, 75.47^\circ$  in the XRD pattern of Fe<sup>3+</sup> doped TiO<sub>2</sub> and undoped nanopowders are consistent with anatase (101), (103), (004), (200), (105), (211), (204), (116), (220) and (107) lattice planes (JCPDS No. 21-1272). The surface morphology and particle size (size distribution) of the pure (Fe: Ti=0) photocatalyst were further analyzed by TEM, it's evident from these images that the synthesized nanoparticles were agglomerated, and their shapes were quasi-nanospheres. The optical properties of TiO<sub>2</sub> and Fe-TiO<sub>2</sub> were studied by UV-Vis DRS. The absorption edge is more extended to the visible light with the increasing of the Fe concentration, which is induced by the electron transition from Fe3d orbitals to TiO<sub>2</sub> conduction band (CB). In N<sub>2</sub> physical adsorption-desorption study, it was observed that the prepared TiO<sub>2</sub> and Fe-TiO<sub>2</sub> possess mesoporous surface as the isotherms are of Type IV and with typical H3 hysteresis loop according to the IUPAC convention, it indicates that TiO<sub>2</sub> sample contain non-rigid aggregates of plate-like or slit shaped pores with a contribution of micropores and mesopores. Results obtained for the photocatalytic degradation of Cypermethrin using nanomaterials suspended and immobilized, as well as the respective soft adsorption and photolysis. The molar ratios higher than Fe: Ti (Fe: Ti=0.075 and Fe: Ti=0.1) and nanoparticles immobilization of generate a decrease on the elimination efficiency.

**Palabras Clave:** iron doped; Cypermethrin; Anatase; solar radiation.

## Effect of nanomaterial incorporation on the self-cleaning, anticorrosive and antimicrobial properties of enamel paint

*ricardo Solano<sup>1</sup>, David Patiño Ruiz<sup>1</sup>, Adriana Herrera<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Nanomaterials and Computer Aided Process Engineering Research Group,  
Doctorate in Engineering Program, Universidad de Cartagena, Piedra de Bolívar Campus,  
Street 30 #48-152, Office D307

\*Autor de correspondencia: [rsolanop@unicartagena.edu.co](mailto:rsolanop@unicartagena.edu.co)

### Abstract

Recently, an increase in the production of intelligent nanomaterials have been reported for the application of solid surfaces coating. These nanomaterials provide a wide number of functionalities such as anti-corrosive, antibacterial and self-cleaning properties. Hence, TiO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles were synthesized using a green chemistry approach. These nanoparticles were fully characterized by SEM, EDX, HRTEM, XRD, UV-Vis, BET and N<sub>2</sub> adsorption-desorption isotherm. Then, a commercial enamel-type paint was modified by using different concentrations (2 and 3.5 and 5 w/v %) of nanoparticles. These nanofilled paints were then brushed onto the surface of different type of materials such as carbon steel sheets, wood sheets and aluminum disks. Anticorrosive, self-cleaning and antibacterial properties of the nanofilled paints were evaluated, with the aim to determine the capability for this application. According to the characterization results, TiO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles exhibited similar physicochemical properties compared to those synthesized using traditional methods. The anticorrosion results revealed that nanofilled paints provide a barrier using low concentrations of nanoparticles, due to the decrease of agglomerates on the surface avoiding the presence of high porosity. In case of self-cleaning, a proposed mechanism of degradation demonstrated that the presence of both nanoparticles in the paint, provided high degradation of methylene blue due to the high surface area offered by the nanoparticles. On the other hand, antibacterial activity under UV light was observed only for ZnO nanoparticles, which may be related to the diffusion of nanoparticles into the cell membrane of the bacteria, affecting the normal function. These results showed to be promising for the modification of paints with TiO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles, and the application on solid surfaces for the construction, and even in textile fields.

**Palabras Clave:** nanoparticles; paint; self-cleaning; antibacterial; anticorrosion.

## Solvent-free and organic template-free synthesis of ZSM-5 zeolite: effect of the synthesis variables

Julieth García<sup>1</sup>, Iván Mora<sup>1</sup>, José Antonio Henao<sup>2</sup>, Víctor Baldovino<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en catálisis (CICAT), <sup>2</sup>Laboratorio de Rayos-X, <sup>3</sup>Laboratorio de ciencia de superficies (SurfLab). Todos en Universidad Industrial de Santander, Parque Tecnológico de Guatigará (PTG), km 2 vía El Refugio.

\*Autor de correspondencia: [vicbaldo@uis.edu.co](mailto:vicbaldo@uis.edu.co)

### Abstract

The synthesis of zeolites without the use of an organic structure directing agent (OSDA) is a promising green chemistry option for the industrial production of these solids. Synthesis routes such as this one allows a reduction in emissions of pollutant gases (NO<sub>x</sub>) and a better use of process energy. Before industrialization, we need to understand how the key variables of the synthesis process influence the main physicochemical properties of the zeolites. Therefore, we studied the synthesis of zeolites by the so-called mechano-chemical route. Particularly, the effects of the following four input variables: milling time and speed, and Na<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> molar ratios, on the porosity, crystallinity, and acidity of a ZSM-5 type zeolite were assessed. Results showed that the milling time and speed had a positive effect on the textural and structural properties and on the acidity of the synthesized zeolites. On the other hand, the Na<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> had a strong effect on the formation of the zeolite, while the H<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> had a rather negligible effect on the properties of the materials. Finally, we analysed the catalytic properties of the synthesized zeolites and compared them with a commercial zeolite. In general, this contribution broadens our knowledge about this type of synthesis (solvent-free and SDA-free) whose environmental and economic impacts may be advantageous.

**Key words:** ZSM-5, synthesis, mechano-chemistry.

## Environmental impacts of a green production of iron oxide nanoparticles from *Cymbopogon citratus* extract and sodium carbonate: life cycle assessment

David Patiño-Ruiz<sup>1</sup>, Samir Meramo-Hurtado<sup>1</sup>, Ángel González-Delgado<sup>1,2</sup>, Adriana Herrera<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Nanomaterials and Computer Aided Processes Engineering Research Group, Doctorate in Engineering Program, Universidad de Cartagena, Piedra de Bolívar Campus, Street 30 #48-152 Office F201, Cartagena-Colombia.

<sup>2</sup>Nanomaterials and Computer Aided Processes Engineering Research Group, Chemical Engineering Program, Universidad de Cartagena, Piedra de Bolívar Campus, Street 30 #48-152 Office D307, Cartagena-Colombia.

\*Corresponding author: [aherrerab2@unicartagena.edu.co](mailto:aherrerab2@unicartagena.edu.co)

### Abstract

Green synthesis is currently a challenge for the production of nanoparticles, taking into account the possible environmental impacts. Replacing the toxic and corrosive chemicals for more natural and available resources, could ensure the sustainability and applicability of a production process. Hence, we report on the life cycle assessment of the production of iron oxide nanoparticles via green synthesis using *Cymbopogon citratus* extract as the reducing agent of iron(III) to iron(II), which is a natural plant highly available in the environment. Moreover, sodium carbonate has been also used within the process as the pH controller with the aim to replace the traditional hydroxides compounds, which are reported to be toxic and corrosive to the environment. Considering that the life cycle inventory presents a lack of information, some assumptions were established as well as the system boundaries. The environmental impacts were assessed according to 8 categories divided in 3 mid-points, human toxicity, ecosystem quality, and resources. From the normalized results, we found that the largest contribution was observed in the marine aquatic ecotoxicity, which was related with high amount of water used within the production process. Marine aquatic ecotoxicity was also directly related with the abiotic depletion, including fossil fuels, generated by the use of iron(III) chloride salt precursor and sodium carbonate, in which processes such as mining are involved. We also found that the use of *Cymbopogon citratus* extract for the replacement of iron(II) salt precursor, contributed substantially to the reduction of each environmental category, which was the main goal of this study, indicating the availability and applicability of this type of green technology for the production of iron oxide nanoparticles. Additionally, the results indicated that the green production is still being an emerged technology with

challenges, since the growing application of iron oxide nanoparticles has increased exponentially, demanding to perform processes completely sustainable and environmentally friendly.

**Keywords:** Green synthesis, iron oxide nanoparticles, life cycle assessment, sustainability, environmental impacts

## Magnetic activated carbon preparation from *dioscorea rotundata* peels and magnetite nanoparticles for the adsorption of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid

Udualdo Herrera-García<sup>1</sup>, Jefferson Castillo<sup>1</sup>, David Patiño-Ruiz<sup>2</sup>, Ricardo Solano<sup>2</sup>, and Adriana Herrera<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>Nanomaterials and Computer Aided Processes Engineering Research Group, Chemical Engineering Program, Universidad de Cartagena, Piedra de Bolívar Campus, Street 30 #48-152 Office D307, Cartagena-Colombia.

<sup>2</sup>Nanomaterials and Computer Aided Processes Engineering Research Group, Doctorate in Engineering Program, Universidad de Cartagena, Piedra de Bolívar Campus, Street 30 #48-152 Office F201, Cartagena-Colombia.

\*Corresponding author at: [aherrerab2@unicartagena.edu.co](mailto:aherrerab2@unicartagena.edu.co)

### Abstract

The removal of organic pollutants from water sources can be enhanced using suitable adsorbents. The aim of this research was to study the adsorption capacity and potential reuse of a magnetic adsorbent prepared from agricultural wastes of yam peels (*Dioscorea rotundata*) for 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid removal. The procedure was performed through carbonization and activation at 400 and 500 °C, respectively. Then, the as-prepared activated carbon was chemically modified using magnetite nanoparticles. The activated carbon and magnetic activated carbon were fully characterized and then used for batch adsorption and regeneration tests at different pH, initial concentrations of 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid, and temperature. Activated carbon and magnetic activated carbon were showed to have microporous structures with surface areas of 715 and 325 m<sup>2</sup>/g, respectively. Superparamagnetic behavior was observed for the magnetic activated carbon with a saturation magnetization of 6 emu/g. The results from the batch experiments showed higher adsorption capacity at high initial concentration of 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid, low pH, and room temperature. The thermodynamic parameters indicated that the experiments proceeded

as exothermic and spontaneous adsorption. Our findings also showed that the magnetic activated carbon can be separated from the water medium through a facile magnetic procedure. From the regeneration experiments, magnetic activated carbon showed better results with 60% of its initial adsorption capacity after five cycles. Hence, the magnetic activated carbon was found to be a promising alternative adsorbent of pesticides in water.

**Keywords:** Yam peel, carbonization, activation, magnetic activated carbon, 2,4- dichlorophenoxyacetic acid.

## Polyurethane's based vascular graft: viscoelastic assessment and mathematic modelling

*Said Arévalo-Alquichire<sup>1,2\*</sup>, Carlos Dominguez<sup>1,3</sup>, Manuel Figueredo<sup>1,4</sup>, Manuel Valero<sup>1,4\*</sup>*

<sup>1</sup>Energy, Materials and Environmental Group (GEMA), Faculty of engineering, Universidad de La Sabana, Chía, Cundinamarca, Colombia

<sup>2</sup>Doctoral program in Biosciences, Universidad de La Sabana, Chía, Cundinamarca, Colombia

<sup>3</sup>Department of prototype and manufacturing, Faculty of engineering, Universidad de La Sabana, Chía, Cundinamarca, Colombia

<sup>4</sup>Department of chemical and biotechnological processes, Faculty of engineering, Universidad de La Sabana, Chía, Cundinamarca, Colombia

\*Autor de correspondencia: [saidaral@unisabana.edu.co](mailto:saidaral@unisabana.edu.co), [manuelvv@unisabana.edu.co](mailto:manuelvv@unisabana.edu.co)

### Abstract

Viscoelasticity is an important property in the functioning of blood vessels, this gives them the ability to absorb energy from systole and release it during diastole to support a continuous and laminar flow. In this study, the viscoelastic response as an effect of hydration state and composition (non-hydrated and hydrated) from four different polyurethane were asses for cardiovascular applications. polyurethane synthesized from mixtures of polyethylene glycol, polycaprolactone diol and pentaerythritol, as hydroxyl donors, and isophorone diisocyanate, as a source of NCO. Dynamic thermal mechanical analysis, strain sweeps and load-creep- recovery test were performed to study the damping capacity and viscoelasticity. Thus, we use a hyperelastic model to fit the creep response. Then, the best models were used to simulate the compliance of a polyurethane based vascular graft, when subjected to a pressure regime between 60 mmHg and 120 mmHg. Finally, a 3D model made in COMSOL Multiphysic was used to test the fluid-structure interaction. We use a Carreau model for blood rheology, material

wall properties were described by the earlier hyperelastic model and a sinusoidal pressure model. To close, materials under hydration state have lower mechanical properties. Results showed that damping behavior was improved with increase of polyethylene glycol. Also, polyurethanes revealed non-linear elasticity in strain sweeps which aggress with the hyperelastic model applied. Finally, we use the computational model to study the speed and pressure profile through the blood vessel in time and space, also the artery deformation. The effect of hydration state and the polyurethane composition were analyzed.

**Palabras Clave:** Polyurethane, Viscoelasticity, Hyperelastic, Blood vessel

## Influencia del tamaño de partícula en la primera etapa de formación de película para dispersiones poliméricas acuosas monodispersas

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

<sup>1</sup>Grupo de Procesos Químicos y Bioquímicos, Maestría en Ingeniería Química, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, <sup>1,3</sup>Carrera 30 No.45-03, <sup>2</sup>Andercol S.A.S Calle 19ª N°43 B 41 Medellín.

\*Autor de Correspondencia: [jeperillap@unal.edu.co](mailto:jeperillap@unal.edu.co)

### Resumen

El impacto negativo sobre el medio ambiente y la salud que tienen los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) presentes en las pinturas y recubrimientos base solvente ha motivado la búsqueda de alternativas en las formulaciones. Una de estas soluciones es el uso de dispersiones poliméricas acuosas, por tal motivo, la demanda de estos productos está en crecimiento. Para el año 2016, dicho mercado tuvo ganancias de 9,200 millones de dólares en Latinoamérica y según un estudio de Markets&markets (2019) se proyecta con una tasa anual compuesta de 4,4% y ganancias de US\$91,8 billones de dólares en el mundo para el 2024. No obstante, a pesar de su potencial, estas dispersiones tienen desventajas con respecto a las de base solvente en cuanto 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 se caracterizan por tener partículas de polímero con un diámetro aproximado de 0.1 a 1  $\mu\text{m}$ . Además, tienen la capacidad de formar una película continua, lisa y brillante sobre la superficie donde se aplica. Las propiedades mecánicas y la morfología de la película dependerán de las condiciones de secado, la composición y las características de la dispersión. El proceso de formación de película se explica a través de 3 etapas: evaporación lineal del solvente, empaquetamiento de las partículas poliméricas y la consolidación de película por medio de la interdifusión de las cadenas poliméricas.

En esta investigación, se estudió por medio de gravimetría la primera etapa de evaporación del solvente a diferentes condiciones de temperatura (20 °C y 30 °C) y humedad relativa (60% RH y 40% RH), a partir de dos dispersiones poliméricas de diferente tamaño de partícula (TME-136nm y TMA-227nm) e igual composición química. 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. 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 cuando las condiciones ambientales son de 20 °C y 60% RH. Por otro lado, los números promedio de Peclet calculados son mayores que la unidad, prediciendo la formación de una capa superficial llamada piel. No obstante, a 20 °C y 60% RH se obtuvieron los valores más bajos para el número de Peclet, lo que permite concluir que con menores temperaturas y humedades altas se puede disminuir el efecto de formación de piel, como se menciona en la literatura. En cuanto a la temperatura de 20 °C, no hay diferencia significativa en tiempos de finalización de la primera etapa. Finalmente, a 30 °C las velocidades de evaporación son ligeramente mayores a medida que el tamaño de partícula disminuye.

**Palabras Clave:** Curvas de secado dispersiones poliméricas, Formación de películas, Tamaño de partícula, Recubrimiento

## Evaluación del uso de biomateriales modificados en la remoción de colorantes aniónicos

*Candelaria Tejada Tovar<sup>1\*</sup>, Angel Villabona Ortíz<sup>1</sup>, Fabián Aguilar Bermudez<sup>1</sup>, Yeraldin Pájaro Moreno<sup>1</sup>, Rodrigo Ortega-Toro<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Diseño de procesos y Aprovechamiento de Biomásas- IDAB, Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado, calle 30 No. 39 B – 192

<sup>2</sup>Grupo Food Packaging and Shelf Life (FP&SL), Programa de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado, calle 30 No. 39 B – 192

\*Autor de Correspondencia: [ctejadat@unicartagena.edu.co](mailto:ctejadat@unicartagena.edu.co)

### Resumen

La contaminación del agua por descargas de colorantes y tintes, debido a las actividades industriales textiles, producción de papel, cosméticos y por las industrias procesadoras de alimentos, es una preocupación ambiental importante, así mismo sus metabolitos y subproductos, que una vez entran en contacto con efluentes superficiales como lagos y ríos; puede ocasionar carcinoma, daños en el sistema nervioso y sistema urinario de seres vivos. En la actualidad, la industria textil utiliza alrededor de 3600 tintes y 8000 productos químicos diferentes en diversos procesos, incluidos el blanqueado, el teñido, la impresión y el acabado; por lo que el tratamiento de aguas contaminadas con colorantes se vuelve prioritario. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la adsorción de los colorantes Rojo Congo y Tartrazina empleando celulosa modificada obtenida mediante mesocarpio de coco como adsorbente. El estudio se llevó a cabo poniendo en contacto el adsorbente con la solución, variando la concentración inicial de colorante entre 40 y 100 ppm y la cantidad de adsorbente entre 15 y 35 mg. Se realizó un blanco con la biomasa madre y la celulosa sin modificar con el fin de ver la viabilidad del proceso de modificación. Usando celulosa modificada para remover tartrazina se obtuvo cerca del 95% de remoción con residuos de trigo y 98% con mesocarpio de coco, presentando la dosis de adsorbente efecto significativamente positivo sobre la capacidad de remoción. En comparación con la biomasa la celulosa modificada también presenta gran ventaja, debido a que con las biomásas no se presentó adsorción, se presentó desorción de compuestos con longitud de onda muy similar a la del colorante tartrazina. Todos los adsorbentes evaluados presentaron buen desempeño en la remoción de rojo Congo, debido a la naturaleza reactiva del colorante, ya que se adhiere fácilmente a las fibras de celulosa, alcanzándose los mejores resultados al usar celulosa

modificada con eficiencias de remoción superiores al 98%. La adsorción de los contaminantes es rápida en los primeros minutos, siendo los tiempos de estabilización superiores a los 600 min para los dos contaminantes; lo cual muestra la gran disponibilidad de centros activos de los materiales. Los resultados experimentales de las isotermas de adsorción muestran un mejor ajuste de las celulosas de mesocarpio de coco y residuos de trigo con el modelo de Freundlich, para tartrazina, y un mejor ajuste con Langmuir para Rojo Congo.

**Palabras Clave:** Tartrazina, Rojo Congo, Adsorción molecular

## Evaluación de la cinética de cristalización de diferentes polipropilenos producidos en Colombia mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC)

*Elma Bibiam Naranjo Estepa<sup>1</sup>, Josué Hernández Chinchilla<sup>1</sup>, Jairo E. Perilla<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de investigación en procesos químicos y bioquímicos, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Carrera 45 # 26-85 Bogotá, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [jeperillap@unal.edu.co](mailto:jeperillap@unal.edu.co)

### Resumen

En este trabajo se presenta el estudio de la cinética de cristalización isotérmica de distintos polipropilenos, homopolímero, copolímero y random producidos en el país. Se realizaron cristalizaciones isotérmicas desde 130 C hasta 150 C, las pruebas de calorimetría diferencial de barrido (DSC) se realizaron en el equipo Mettler Toledo DCS1 del laboratorio de polímeros del departamento de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia. Se determinaron los parámetros de Avrami para cada uno de los propilenos a distintas temperaturas de cristalización, se observó que a medida que la temperatura de cristalización aumenta la velocidad de cristalización disminuye puesto que las cadenas del polímero han utilizado un mayor tiempo para formar una estructura cristalina.

**Palabras Clave:** Cristalización, Polipropileno, Cristalización, Parámetros de Avrami.

## Preparación de películas de quitosano/pva con diferentes plastificantes para mejorar las propiedades físico químicas y mecánicas en empaques de alimentos

Gezira De Avila Montiel<sup>1\*</sup>, Yomaris Hernández Berrio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación de Diseño de Procesos y Aprovechamiento de Biomásas (IDAB), Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado, calle 30 No. 39 B – 192, Cartagena de Indias, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: gdeavilam@unicartagena.edu.co

### Resumen

El plástico a base de petroquímicos es uno de los materiales más utilizados actualmente; estos poseen excelentes ventajas como bajo costo, alta funcionalidad y propiedades estructurales, convirtiéndose en la materia prima de millones de productos de consumo diario. Sin embargo, su alta demanda mundial está causando problemas de contaminación ambiental, ya que los plásticos sintéticos son no biodegradables. Por tanto, múltiples investigaciones se encuentran enfocadas en la obtención y modificación de películas a base de mezclas de biopolímeros y polímeros sintéticos, a las cuales se añaden plastificantes para mejorar las propiedades mecánicas y físico-químicas. El objetivo de esta investigación, fue preparar películas a base de quitosano y alcohol polivinílico con glicerol, aceite de girasol y glucosa, como agentes plastificantes. Se prepararon soluciones de quitosano/alcohol polivinílico en proporción 1:1 (p/p) y se adicionaron diferentes concentraciones de plastificante 20, 40 y 60 (% p/p); con respecto al peso del quitosano). Se analizaron las propiedades físico-químicas y mecánicas de las películas, incluyendo contenido de humedad, grado de hinchamiento, solubilidad, espesor, resistencia a la tracción (TS), elongación en la rotura (%E), permeabilidad al vapor de agua y biodegradabilidad. Además, fueron caracterizadas por medio de Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR), Análisis Termogravimétrico (TGA), y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM). Los resultados indicaron que el contenido de humedad en las películas disminuyó con la inclusión del aceite de girasol por su carácter hidrofóbico. En las pruebas mecánicas, las películas de quitosano/alcohol polivinílico con glicerol, mostraron un incremento en la elongación y una disminución en el módulo de elasticidad con respecto al aumento en la concentración del plastificante. En cuanto al grado de hinchamiento y solubilidad, las películas que tienen mejor afinidad con

el agua son las de glicerol. Además, las pruebas de permeabilidad al vapor de agua demuestran con la adición de glicerol el índice de permeabilidad aumenta, mientras que con aceite de girasol y glucosa este disminuye. Por último, la biodegradabilidad disminuyó con el aumento en la concentración de los plastificantes. Con esta investigación se obtuvo una película biodegradable que puede ser usada como recubrimiento alimenticio.

**Palabras Clave:** Biodegradabilidad, películas híbridas, plastificantes, propiedades funcionales.

## Preparación de películas bioactivas a base de quitosano y gelatina modificadas con nanopartículas de óxido de cobre en aplicaciones alimentarias

*Gezira De Avila Montiel<sup>1</sup>\*, Rodríguez López Catalina<sup>1</sup>, Yepes Aguilar Laura Vanessa<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación de Diseño de Procesos y Aprovechamiento de Biomásas (IDAB), Programa De Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado, calle 30 No. 39 B – 192, Cartagena de Indias, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [gdeavilam@unicartagena.edu.co](mailto:gdeavilam@unicartagena.edu.co)

### Resumen

En las últimas décadas, los polímeros sintéticos derivados del petróleo han tomado el mercado de los envases de alimentos debido a su bajo costo, alta durabilidad y excelente rendimiento a prueba de agua. Hoy día, el consumidor ha exigido disminuir el uso de derivados del petróleo y reducir los problemas relacionados con el recubrimiento de alimentos. Muchos investigadores están desarrollando películas biodegradables a base de biopolímeros, con el fin de extender la vida útil de los alimentos, proteger la seguridad alimentaria y reducir el impacto ambiental. El objetivo de esta investigación fue preparar películas de quitosano/gelatina reforzadas con nanopartículas de óxido de cobre (NPs-CuO). Se prepararon soluciones de quitosano/gelatina por casting en proporción 1:1 (p/p) y se adicionaron diferentes concentraciones de glicerol/sorbitol (20:80, 50:50 y 80:20 (% p/p); con respecto al peso del quitosano). Posteriormente, la película fue modificada con nanopartículas de CuO tomando una solución madre de (0.01 % p/v). Las películas se caracterizaron por medio de Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM). Las (NPsCuO) se caracterizaron mediante Difracción de Rayos X (XRD) y se

analizaron las propiedades físico-químicas y mecánicas de las películas, incluyendo resistencia a la tracción (TS) y elongación (%E). Los resultados indicaron que la aparición de nuevas bandas y los cambios en los espectros del FT-IR confirmaron las interacciones intermoleculares entre la matriz de quitosano/gelatina y las nanopartículas. La morfología de las películas determinada por (SEM), mostraron que todas tenían una superficie lisa y homogénea. La formulación más óptima fue la película con relación 50:50 de plastificantes y 2 ml de solución de nanopartículas de cobre y la película con relación 20:80 de plastificantes sin modificación. En el presente trabajo se obtuvo un recubrimiento activo basado en una matriz de quitosano/gelatina renovable con nanopartículas de CuO, como alternativa para su uso en aplicaciones industriales.

**Palabras claves:** Gelatina, glicerol, nanopartículas de CuO, películas bioactivas, quitosano.

## Efecto de la adición de ácido cítrico y WPI en la elaboración de películas basadas en almidón de achira

Liliana Ávila Martín<sup>1</sup>, Jairo E. Perilla<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de investigación en procesos químicos y bioquímico. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia –Bogotá, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [jeperillap@unal.edu.co](mailto:jeperillap@unal.edu.co)

### Resumen

La búsqueda de nuevas fuentes para el desarrollo de plásticos naturalmente degradables, ha llevado al estudio de biopolímeros como el almidón, que en su estado nativo posee una estructura cristalina que le impide tener un comportamiento plástico, por esta razón se están estudiando diversos aditivos para conferir las propiedades necesarias que permitan competir con los plásticos convencionales (Avérous & Halley, 2009). Dentro de los almidones empleados para elaboración de biopolímeros se encuentra el obtenido a partir de la planta *Canna Indica L.* con sinonimia como *Canna Edulis ker*, conocida tradicionalmente como achira, nativa de la región andina sudamericana (Seminario, 2004). Este almidón ha sido uno de los menos estudiados en el campo de los bioplásticos, encontrándose pocos escritos al respecto, aunque con resultados promisorios (Andrade-Mahecha, Pelissari, Tapia-Blácido, & Menegalli, 2015). Por lo tanto, en este trabajo eva-

luamos el efecto de la adición de ácido cítrico (CA) y aislado de proteína de suero de leche (WPI), en propiedades de película basadas en el almidón extraído del rizoma achira (*Canna indica* L.).

El almidón fue obtenido en el municipio de Manta (Cundinamarca, Colombia), ácido cítrico monohidratado de Merk y proteína aislada de lactosuero grado farmacéutico USP. Marca Pure Bulk. Se realizó la caracterización del almidón y la caracterización de las películas con diferentes concentraciones de AC y WPI individualmente, y su interacción. Los métodos empleados fueron microscopia SEM, difracción de rayos X, espectroscopia FTIR, ensayo de tracción, permeabilidad al vapor de agua (WVP), entre otras.

Se encontró que el almidón de achira presenta propiedades que permiten una adecuada formación de película, como un alto contenido de amilosa aparente (37.7%), además se hallaron los parámetros cinéticos: energía de activación (E) 175.63 KJ/mol y factor preexponencial (A)  $36.9 \text{ Ln A (min}^{-1}\text{)}$ , a partir de las curvas de TGA. Se encontró que AC disminuye la temperatura de gelatinización  $T_p$ , mientras que WPI tiende a aumentarla, tanto AC como WPI reducen la viscosidad de las suspensiones gelatinizadas. La adición de AC dentro de las condiciones trabajadas presento un efecto plastificante en la formación de películas, aumentando la WPV y reduciendo los porcentajes de cristalinidad y módulos de elasticidad. La proteína redujo las propiedades mecánicas y aumento la WVP. La adición simultanea de AC y WVP en bajas concentraciones con respecto al almidón 6% y 1/8 p/p respectivamente mejoraron las propiedades mecánicas y redujeron la retrogradación de las películas.

**Palabras Clave:** Almidón, proteína aislada de lactosuero, ácido cítrico, películas, propiedades mecánicas.

## Referencias

Andrade Mahecha, M. M., Tapia-Blácido, D. R., & Menegalli, F. C. (2011). Development and optimization of biodegradable films based on achira flour. *Carbohydrate Polymers*, 88(2), 449–458. doi:10.1016/j.carbpol.2011.12.024

Andrade-Mahecha, M. M., Pelissari, F. M., Tapia-Blácido, D. R., & Menegalli, F. C. (2015). Achira as a source of biodegradable materials: Isolation and characterization of nanofibers. *Carbohydrate Polymers*, 123, 406-415.

doi:10.1016/j.carbpol.2015.01.027

Avérous, L., & Halley, P. J. (2009). Biocomposites based on plasticized starch. *Biofuels, Bioprod. Bioref.*(3), 329–343. doi:10.1002/bbb.135

Azeredo, H. M., & Waldron, K. W. (2016). Crosslinking in polysaccharide and protein films and coatings for food contact – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 52, 109-122. doi:10.1016/j.tifs.2016.04.008

Seminario, J. (2004). *Raíces andinas : contribuciones al conocimiento y a la capacitación*. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP). Obtenido de <http://cipotato.org/publications/>

## Bioconversión microalgal de aguas residuales agrícolas en metabolitos de interés

Miguel Ángel Castellanos Estupiñán\*, Dorance Becerra Moreno, Andrés Fernando Barajas-Solano.  
Grupo de Investigación Ambiente y vida, Programa o Departamento, Universidad Francisco de Paula Santander UFPS, Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Barrio Colsag, San José de Cúcuta – Colombia

\*Autor de Correspondencia: [angel.1@hotmail.com](mailto:angel.1@hotmail.com)

### Resumen

En el contexto ambiental actual existen diversas problemáticas que están afectando el planeta tierra tal y como lo conocemos, El calentamiento global, la contaminación de fuentes hídricas por aguas residuales industriales, la contaminación con residuos plásticos pos-consumo derivados de combustibles fósiles, la demanda y presión hacia el recurso hídrico, entre otros; han puesto en alerta a la comunidad científica en la búsqueda de soluciones prácticas a estas problemáticas, diversas investigaciones se centran en la búsqueda de una simbiosis natural para la obtención de productos de valor agregado partiendo del re-uso de nutrientes que normalmente son desechados y/o liberados al medio ambiente perdiendo su valor comercial y causando diversas problemáticas ambientales ya conocidas.

Recientes investigaciones revelan que las microalgas y las cianobacterias tienen un potencial prometedor en la producción de metabolitos de interés para diversas aplicaciones químicas y biológicas en diferentes industrias; Entre los

metabolitos de interés para la industria de alto valor se encuentran principalmente biopolímeros como polihidroxicanoatos (PHA), considerado sustituto de los plásticos a base de petróleo ya que proporciona propiedades mecánicas similares a los polímeros sintéticos, y Exopolisacaridos (EPS) los cuales poseen características estructurales apetecidas en diferentes industrias asociadas con propiedades biológicas y fisicoquímicas específicas.

Uno de los principales desafíos en la actualidad para la producción de metabolitos de alto interés comercial como EPS Y PHA es la biorefinación a bajo costo y alta eficiencia, ya que la producción de biomasa microalgal requiere altos costos en nutrientes y sales necesarios para la producción junto a grandes volúmenes de agua.

La investigación en curso ha demostrado que cultivos de microalgas (*Chorella sp* UFPS010; *Scenedesmus sp* UFPS002) y cianobacterias (Ciano13\_UFPS013; *Ha-palosiphon sp* UFPS015) crecen satisfactoriamente a concentraciones del 100% de agua residual proveniente de cultivos agrícolas, logrando una producción de biomasa para microalgas entre 0,7 g/L y 1 g/L; y para cianobacterias entre 0,5 g/L y 0,8 g/L, evidenciando un consumo aproximado entre 80 y 95 % de los nutrientes allí presentes, lo que representa una alta disminución en costos de producción de biorefinación algal teniendo en cuenta que el costo por nutrientes y sales de carbono orgánico requeridos para los medios de cultivo equivalen aproximadamente al 50% del costo total de producción. En términos ambientales se demuestra un potencial de 100% de re-uso del agua residual agrícola, el tratamiento de las misma mediante un sistema de ficoremediación que permite mejorar los parámetros fisicoquímicos para su posterior descarga al agua o al suelo, y la captura de CO<sub>2</sub> en la atmósfera por parte de estos microorganismos.

**Palabras Clave:** Bioconversión, Agua Residual, Metabolitos, Tratamiento, Biorefinación

## Functional properties and physicochemical characterization of native starches from colombian crops

Sandra Arroyave, Liliana Ávila-Martin, Elma Naranjo, Jairo E. Perilla\*

Grupo de Procesos Químicos y Bioquímicos, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, 111321 Bogotá D.C. Colombia

\*Author of correspondence: [jeperillap@unal.edu.co](mailto:jeperillap@unal.edu.co)

### Abstract

The use of starch in food, pharmaceutical, plastics, and construction industry is increasing due to its favorable characteristics and versatility in terms of chemical and physical modifications. The understanding of the correlation between physicochemical properties and functional properties of native starches from different botanical sources gives valuable information about the performance of starch-based products. In this study, starches from Colombian crops such as *Zea Mays* (Maize), *Canna Edulis* (Achira), *Erythrina Edulis* (Balú), *Musa Paradisiaca* (Plantain), were characterized through DSC, TGA, XRD, LSD, NMR, SEM techniques in order to obtain data of granule and gel features like gelatinization and thermal behavior, crystallinity, particle size distribution, degree of branching, morphology, respectively. Respect to functional properties, there was accomplished swelling power, water absorption (WAI) and solubility indexes (WSI) at 40°C, whiteness index was also measured. For determination of starch composition, methodologies for fiber and amylose content were developed by means of acid-base digestion and spectrophotometry UV-Vis, correspondingly. According to the obtained results, there were found differences in morphology depending on the starch species from roots, leguminous, cereal grains to fruits, as well as for crystal type, even particle size analysis showed unimodal distribution for all the starches analyzed but different mean particle sizes. Regarding fiber content, only small traces were found for plantain starch, which was also evident in SEM micrographs, but its effect could be marked for mechanical properties. For functional properties, it is established that starches with high water absorption index presented higher values of swelling power, the achieved results are not congruent with the expected ones for plantain and balú, moreover for maize and achira the WSI could not be measured. Highest value of degree of branching was registered for maize and the lowest for achira starch. Thermal behavior results showed gelatinization temperatures between 65 to 78°C, with enthalpies from 11.8 to

15.8 J/g. Plantain exhibited more retrogradation compared with the others, while balú presented lower value consistent with amylose content which is higher for plantain and lower for balú starch.

**Key words:** starch, crystallinity, gelatinization, degree of branching.

## Evaluación de un biomaterial nanoestructurado a partir de celulosa bacteriana y nanopartículas de plata en el tratamiento de epidermólisis bullosa

*Angie Viviana Salguero, Jenny Carolina Piragua, Eric David González,  
Xiomara Moya, Alis Pataquiva-Mateus*

Programa de Ingeniería Química, Departamento de Ingeniería, Universidad Jorge Tadeo Lozano,  
Carrera 4 22-61, Bogotá, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [angiev.salguerop@utadeo.edu.co](mailto:angiev.salguerop@utadeo.edu.co)

### Resumen

La epidermólisis bullosa (EB) hace parte del grupo de enfermedades cutáneas originadas por alteraciones genéticas y se caracteriza por la aparición de vesículas después de diversos traumatismos, que pueden ser mínimos, como el contacto con prendas de vestir. La EB presenta una incidencia de 7,7 casos por cada millón de habitantes en Colombia, manifestándose al nacer o en los primeros años de vida, sin hacer distinción de género y afecta de manera negativa la calidad de vida de los pacientes y sus familias. En Colombia no existen tratamientos con éxito, el más efectivo hasta el momento es la protección de las heridas con apósitos; sin embargo, estos son de costo elevado y de acceso limitado, lo cual genera una oportunidad para incursionar en este mercado y en la mejora de la calidad de vida de las personas afectadas. Por lo anterior, este trabajo de investigación tiene como objetivo la evaluación de un biomaterial a base de celulosa bacteriana, como material de apósito en el tratamiento de la EB. Para esto, se determinó las condiciones óptimas de cultivo de una colonia simbiótica de bacterias y levaduras (SCOBY, de sus siglas en inglés), encontrando una temperatura y pH de 38°C y 2.7, respectivamente. El medio de cultivo se compuso de fuentes de bajo costo para suplir nitrógeno y carbono adecuadamente. El material obtenido luego de 15 días de cultivo fue cargado con una suspensión concentrada de nanopartículas de plata (AgNPs), obtenida por vías electroquímicas. Las características físicas y biológicas se establecieron a partir de la metodología planteada

en la norma UNE-EN iso 13726-1 de 2002, la cual indica los parámetros necesarios para la validación de un material como apósito. Dentro de los resultados más relevantes del desempeño del material están: capacidad de absorción de 0,0093 g/cm<sup>2</sup>, transmisión de vapor de agua de 853,69 g<sup>-2</sup>\*24h<sup>-1</sup>, impermeabilidad de 0,6042 g de agua/g de celulosa y máxima resistencia mecánica de 226,44 MPa. En cuanto a la caracterización biológica del material, se encontró que el material de celulosa y AgNPs limitó de manera significativa el crecimiento de en presencia *Staphylococcus aureus* y *Pseudomonas aeruginosa*. A partir de lo anterior, se puede concluir que el material propuesto, a base de celulosa y AgNPs, es un potencial biomaterial para el tratamiento de EB debido a sus características antibacteriales y de humedad favoreciendo la cicatrización de las heridas.

**Palabras Clave:** SCOBY, piel de mariposa. nanotecnología, síntesis electroquímica, biomaterial.

## Nanostructured biodegradable polymeric films for food packaging applications

Nikolay Gómez-Mesa\*, Alis Pataquiva-Mateus

Departamento de Ingeniería, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [nikolaye.gomez@utadeo.edu.co](mailto:nikolaye.gomez@utadeo.edu.co)

### Resumen

Every year more than 380 million tons of plastic are being produced that can end up as contaminants. Many applications of polymers, such as those used for packaging cause real environmental damage and take decades to hundreds of years to disintegrate. The management of waste in high amounts is expensive since 20-25% of plastics produced end up in landfills. Natural proteins are good candidates for producing packaging films due to their excellent functional and structural properties both for their film-forming qualities and their nutritional value. Currently, nanocomposites that demonstrate improved barrier properties to water vapor, oxygen, and carbon dioxide are being implemented for food packaging applications. Clays are usually incorporated into polymer matrices to improve their physical properties, showing large improvements with very small amounts of clay fillers. The present work was carried out to develop and characterize a biodegradable nanocomposite film based on calcium caseinate and

starch nanostructured with bentonite for packaging in the food industry. The films were prepared by the solution casting method with the addition of glycerol (30% w/w of calcium caseinate) as a plasticizer and PVA (70% w/w of final solution) to improve their properties. A statistical analysis was performed to find the proportion to be used between casein and starch. Physical and chemical characterizations were performed using SEM, EDS and FTIR. Analysis showed the rough surface of the film as an effect of bentonite. From water vapor permeability analysis, a decrease in value in orders of magnitude up to 2 was found with respect to casein and starch films without PVA, attributed to the addition of clay. The film with bentonite had a low transmittance percentage for UV radiation ( $44.37\% \pm 6.85$ ) with respect to the sample without clay that showed an improvement in light barrier properties. Transparency was less in the films but this increase in opacity was not significant to the naked eye. Microbiological tests reported a total number of admissible bacteria in casein films and few yeast colonies due to their manipulation. The biodegradability test showed that films can be degraded at a rate of 13 weeks under ambient temperature and soil was not adjusted for any humidity conditions. It was concluded that the inclusion of PVA and modified starch with nanostructured bentonite suspension in the caseinate film formulation improves mechanical properties, compared to similar films with up to 30% increase in tensile strength with a value of  $13.083 \pm 2.1$  MPa.

**Palabras Clave:** Bionanocomposite, casein, bentonite, biopolymeric film, PVA.

## Obtención de nanoestructuras de celulosa por electrospinning a partir del papel tissue no conforme

Luis G. Jaimes\*, María X. Quintanilla, Martha I. Cobo

Facultad de Ingeniería. Universidad de La Sabana, Campus Puente del Común, Bogotá Colombia.

\* Autor de Correspondencia: [luisjabe@unisabana.edu.co](mailto:luisjabe@unisabana.edu.co)

### Resumen

La celulosa es la biomolécula orgánica más abundante en el planeta. Este biopolímero compuesto por largas cadenas de  $\beta$ -glucosa hace parte fundamental de los procesos productivos de la industria del papel; ya que mediante su transformación desde fibra virgen o reciclada se obtiene una amplia variedad de productos del mercado conocidos como papel tissue: papel higiénico, toallas,

servilletas, pañuelos faciales, entre otros. Una empresa local de la zona dedicada a la fabricación de estos productos presenta un significativo rechazo diario de papel tissue (alrededor de 2 t) debido a condiciones fuera de especificaciones o de proceso. En consecuencia, se obtienen grandes cantidades de papel sin otro destino que ser reintegrado al proceso como materia prima. Si se tiene en cuenta que este material de rechazo actualmente es usado como componente fibroso, y que su costo oscila entre 2 y 5 veces el de la materia prima tradicional, nace la necesidad de evaluar nuevas formas de aprovechamiento para este rechazo con alto contenido de celulosa, en búsqueda de materiales con importantes propiedades fisicoquímicas y mecánicas, que puedan ser usados en aplicaciones de mayor valor para la compañía. Ahora bien, la obtención de nanoestructuras de celulosa es una alternativa interesante, puesto que son biopolímeros con características y propiedades particularmente útiles para esta industria, debido a su estructura, alta porosidad, área superficial, bajo peso e incrementos en la resistencia a la tracción. Un método de obtención de estas nanoestructuras es el electrospinning, técnica escalable, poco costosa y de bajo consumo energético, en la cual, a partir de una solución polimérica, se obtiene materiales finos de diferentes tamaños. Sin embargo, para obtener resultados satisfactorios, esta requiere que la solución presente propiedades puntuales, entre ellas, alta solubilidad y baja viscosidad. Esto ha sido un importante reto para la obtención de nanoestructuras de celulosa en la industria por varios años, pues procesar directamente la celulosa se dificulta por sus fuertes enlaces intermoleculares de puentes de hidrógeno, lo que afecta la solubilidad en solventes convencionales y de bajo impacto ambiental. En este estudio se implementó una metodología para la disolución del papel tissue en un solvente acuoso de 7%p/p de NaOH y 12% p/p de urea de bajo nivel tóxico comparado con otros solventes convencionales, permitiendo la obtención de nanoestructuras de celulosa en el electrospinning, estas nanoestructuras fueron incorporadas en papel reciclado fabricado a nivel laboratorio, permitiendo un incremento sustancial en las resistencias a la tracción. Esta valorización permitió la obtención de un material con mejores características mecánicas y un aporte al conocimiento en la industria papelera.

**Palabras claves:** Nanoestructura, Microfibrilado, Celulosa, Papel Tissue, Electrospinning.

## Extracción de celulosa de los residuos agroindustriales del cacao y su aplicación en materiales compuestos

*Diego Alejandro Torres Giraldo, Andrés López Rojas, Niyireth Alicia Porras Holguín\**

Grupo de Investigación de Diseño de Productos y Procesos, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Cra. 1 #18a 12, Bogotá, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [n-porras@uniandes.edu.co](mailto:n-porras@uniandes.edu.co)

### Resumen

La producción nacional de cacao ha crecido un 32.6% en los últimos 10 años [1]. La cacota es uno de los residuos agroindustriales que se obtiene al retirar el mucílago de la fruta y representa el 70-75% en peso de toda la fruta [2]. Por otra parte, la cascarilla de cacao es otro residuo agroindustria, es el recubrimiento de la semilla de cacao y corresponde al 12% en peso del total de la semilla [3]. Estos desechos agroindustriales son una gran fuente de contaminación, por lo que actualmente se buscan alternativas de usos de estos residuos y poder darles un valor agregado. La cacota y la cascarilla de cacao son fibras naturales que están compuestas principalmente por material lignocelulósico, cenizas y ceras [4]. Dadas las características de las fibras naturales como son: fácil obtención, costos competitivos y aspectos ambientales, se han venido utilizando para la fabricación de materiales compuestos donde presentan ventajas respecto a los refuerzos sintéticos como lo es la baja densidad, facilidad de procesamiento y biodegradabilidad. Adicionalmente, los residuos del cacao no han sido ampliamente estudiados en aplicaciones en materiales compuestos [4].

La propiedades finales del material compuesto dependen de la composición química de la fibra natural, entre mayor sea el porcentaje de celulosa, mejores serán las propiedades mecánicas del material compuesto [5, 6]. Por este motivo, este estudio se enfoca estudiar si es factible la obtención de celulosa a partir de los residuos agrícolas de la cacota y la cascarilla de cacao a través de un proceso conformado por tres tratamientos químicos consecutivos (hidrólisis ácida, tratamiento alcalino y blanqueo) y se evalúa su aplicación en materiales compuestos usando PLA como matriz. Para estudiar el efecto del tratamiento se determinó la cristalinidad de la fibra/residuo con y sin tratamiento mediante la técnica de difracción de rayos-X (DRX). Posterior, se manufacturaron materiales compuestos

de celulosa extraída con PLA usando un porcentaje de 2.5% de fibra y se caracterizó mediante el ensayo de flexión siguiendo la norma ASTM D790.

A partir del DRX se determinó que la fibra/residuo sometido a los tratamientos químicos presenta un porcentaje de cristalinidad de 58.13% para la cacota y 64.97% para la cascarilla de cacao; por lo tanto, después de realizar los tratamientos químicos se logró incrementar el porcentaje de cristalinidad de la cacota en un 66.46% y de la cascarilla de cacao en un 117.65% con respecto al material sin tratamiento. Al comparar con la literatura valores similares de cristalinidad a los determinados en este trabajo para las fibras tratadas son reportado para celulosa pura extraída de otras fibras naturales [7], lo cual indica que el tratamiento químico fue efectivo para remover componentes no celulósicos y es factible obtener celulosa a partir de los residuos del cacao. Adicional, a partir de los ensayos de flexión se determinó que al usar la celulosa extraída como fase dispersa en el compuesto el módulo aumenta en comparación al PLA puro. Específicamente, el módulo aumentó un 12.8 % y 9.6 % usando la celulosa de cacota y de cascarilla, respectivamente. Referente al esfuerzo de flexión en el compuesto con celulosa no se observa una mejora significativa con respecto al PLA puro, sin embargo, al comparar el compuesto de PLA/cacota sin tratamiento con respecto al compuesto PLA/celulosa de cacota se observa un aumento en el esfuerzo del 10.4%.

Finalmente, se puede concluir que la mayoría de los componentes no celulósicos de los residuos de cacao fueron removidos mediante el tratamiento químico y es factible obtener celulosa pura. Así mismo, se determinó que hay un gran potencial para el uso de los desechos agroindustriales del cacao como fase dispersa para el desarrollo de nuevos materiales compuestos biodegradables.

**Palabras Clave:** Desechos agroindustriales, Cacao, celulosa, tratamientos químicos, cristalinidad.

## Procesamiento y caracterización de materiales compuestos biodegradables a partir de la cascarilla de cacao

María Alejandra Morales, Andrés Camilo Ramírez, Niyireth Alicia Porras\*

Grupo de Investigación de Diseño de Productos y Procesos, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de los Andes, Cra. 1 #18a 12, Bogotá, Colombia

\*Autor de Correspondencia: n-porras@uniandes.edu.co

### Resumen

La cascarilla de cacao (CH), es el principal desecho de la industria chocolatera. El aprovechamiento de este residuo se ha convertido en un foco de interés en la industria y en la investigación por las ventajas que trae utilizar este tipo de fibras, adicional a la disminución de la contaminación ambiental. Ventajas que residen en su bajo costo, provienen de recursos renovables, baja densidad, baja abrasión a equipos mecánicos y biodegradabilidad. La utilización de la cascarilla de cacao como carga natural de polímeros termoplásticos, abre una nueva ruta de aplicación para este tipo de residuos como un recurso útil en la industria de los materiales y plásticos. Sin embargo, dado que las propiedades de las fibras dependen factores como las condiciones de cultivo, zona y método de extracción, es fundamental entender las propiedades de la fibra de cascarilla de cacao que se produce en Colombia. Por lo tanto, este trabajo se enfoca en estudiar las propiedades físicas, químicas, y térmicas de la cascarilla de Cacao (CH) proveniente de la región del Uraba Antioqueño y evaluar su uso para el desarrollo de materiales compuestos biodegradables, utilizando PLA.

En este estudio, la CH suministrada por la empresa cacaotera CasaLuker S.A fue caracterizada mediante ensayos físicos como porcentaje de humedad (ASTM D1348) y densidad aparente (ASAE S269.4), así como ensayos térmicos mediante la técnica de análisis termo gravimétrico (TGA). Adicional, se realizó el análisis de grupos funcionales mediante la técnica de FTIR y se determinó su composición química (ASTM E-1758). Posterior, se realizó la manufactura del material compuesto con cascarilla de cacao y PLA, evaluando diferentes porcentajes de fibra (bajo, medio y alto) y se caracterizó el material mediante el ensayo de tensión (ASTM D638).

A partir de la caracterización física se determinó que la cascarilla de cacao presenta un contenido de humedad de  $5.52 \pm 1.04\%$  y una densidad aparente de  $0.461 \text{ g/cm}^3$ . En el TGA se identificó altas pérdidas de peso entre los 200 y  $350^\circ\text{C}$ , atribuidos a la degradación de los componentes hemicelulósicos, por lo tanto, su procesamiento debe realizarse a temperaturas inferiores a esta. En el análisis de FTIR se determinó la presencia de grupos O-H, C=C, C-H, ésteres, algunos componentes de nitrógeno y aminas. Adicional, se encontró que la cascarilla está constituida por un  $42.23 \pm 1.93\%$  de celulosa,  $14.73 \pm 1.57\%$  de hemicelulosa,  $22.68 \pm 1.17\%$  de lignina,  $9.11 \pm 0.24\%$  de cenizas y  $14.42 \pm 1.93\%$  de extractivos.

A partir del ensayo de tensión se determinó que altos contenidos de fibra disminuyen la resistencia, sin embargo, aumentan el módulo de elasticidad. El mejor comportamiento para la resistencia a la tensión se encontró al usar un porcentaje intermedio de fibra, obteniendo un esfuerzo de  $39.39 \pm 2.77 \text{ MPa}$  y el mejor comportamiento referente al módulo se encontró al usar un alto contenido de fibra ( $3.42 \pm 0.36 \text{ GPa}$ ). A partir de microscopía óptica se observó que la adhesión entre la fibra y la matriz es baja, por lo cual se sugiere la implementación de tratamientos de modificación superficial a futuro para mejorar la compatibilidad entre las fases y por ende el desempeño del material compuesto. Finalmente, con el fin de innovar, como prototipo de producto se desarrolló un empaque para polvo de cacao "CocoaPowder" por medio de impresión 3D usando el material compuesto desarrollado. En conclusión, la cascarilla de cacao es una alternativa viable para el desarrollo de materiales compuestos y diseño de productos biodegradables.

**Palabras Clave:** cascarilla de cacao, fibras naturales, ácido poliláctico, caracterización, materiales compuestos.

## Desarrollo de un material de pared apropiado para la encapsulación de aceite de semilla de chía

*Juan Sebastian Amaya Cano\**, *Santiago Segura Pacheco,*  
*María Hernández Carrión, Felipe Salcedo Galán*

Grupo de Diseño de Productos y Procesos (GDPP), Departamento de Ingeniería Química,  
Universidad de los Andes, Cra. 1 #18a 12, Bogotá

\*Autor de Correspondencia: [js.amaya11@uniandes.edu.co](mailto:js.amaya11@uniandes.edu.co)

### Resumen

Actualmente, el aceite de semilla de chía es de gran interés debido a que es considerado un superalimento que posee grandes cantidades de omega 3, aproximadamente el 68.4% de su composición. Sin embargo, este aceite evidencia problemas en su almacenamiento a escala industrial al presentar degradación de los ácidos grasos con el oxígeno presente en el aire. En este trabajo se buscó evaluar la formulación de material de pared más apropiada para el desarrollo de cápsulas de aceite de semilla de chía, protegiendo al aceite de la degradación del omega-3 durante el almacenamiento del producto. De esta manera, se realizó la encapsulación del aceite de semilla de chía a través del método de secado por atomización a una temperatura de 170°C. Se evaluó el desempeño de un material de pared constituido por maltodextrina y caseinato de sodio en dos formulaciones (F1 y F2). Para ello, se realizaron emulsiones del tipo O/W manteniendo una relación de material de pared y aceite de 2:1. Para F1 se utilizó 100% de maltodextrina, mientras que para F2 se utilizó 95% de maltodextrina y 5% de caseinato de sodio. Las propiedades a evaluar fueron el tamaño de gota de la emulsión, el contenido de aceite encapsulado y la morfología de las cápsulas, estableciendo así la formulación más eficiente para futuras aplicaciones en el diseño de productos. Los resultados obtenidos arrojaron que a través de la medición del tamaño de gota, F1 presenta menor tamaño (8.16  $\mu\text{m}$ ) que F2 (13.58  $\mu\text{m}$ ) dado que el caseinato presenta una longitud de cadena más larga que la maltodextrina. Sin embargo, la morfología obtenida en el microscopio electrónico de barrido (SEM) mostró una mejor estructuración de cápsula en la formulación que contenía caseinato de sodio. Así mismo, la retención de aceite para F1 fue del 29.69% mientras que para F2 fue del 35.06%, debido a las propiedades encapsulantes de la proteína. Los resultados sugieren que la formulación que presenta 5% de caseinato de sodio posee una mayor retención de aceite de chía, mejor

morfología de cápsula y menor aglomeración de partícula, siendo, por tanto, la formulación más eficiente para la encapsulación de aceite de semilla de chía.

**Palabras Clave:** Encapsulamiento, Aceite de semilla de chía, Tasas de liberación, Alimento funcional, Análisis sensorial.

## Valorización de la cacota de cacao colombiana en aplicaciones de materiales compuestos

*Cruz Reina Luis J<sup>1</sup>, Andrés García Brand<sup>1</sup>, Sandra Argüello<sup>1</sup>, Niyireth Alicia Porras<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Diseño de Productos y Procesos, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Los Andes, Carrera 1 # 18 A – 12 Bogotá.

\*Autor de Correspondencia: [n-porras@uniandes.edu.co](mailto:n-porras@uniandes.edu.co)

### Resumen

En Colombia se produce una gran cantidad de productos agrícolas que en su obtención dejan como residuo biomasa de origen renovable [1], como es el caso del cultivo del cacao donde el principal residuo agroindustrial es la cacota que representa un 73.4 % del fruto de cacao. Actualmente, en el campo de los materiales sostenibles se están investigando los materiales compuestos que se basan en el uso de fibras vegetales provenientes de fibras naturales o residuos agrícolas como carga o refuerzo de matrices poliméricas de tipo biodegradable [2] [3] [4]. Por lo tanto, entender las propiedades de la fibra y su interacción con matrices poliméricas ha permitido el desarrollo de materiales innovadores que dan valor agregado a esta biomasa. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue investigar las propiedades físicas, químicas, y térmicas de la cacota de cacao y el efecto de la fibra en las propiedades mecánicas de un material compuesto utilizando resina poli láctica (PLA) como matriz biodegradable.

En este estudio, la cacota de cacao fue suministrada por la empresa cacaotera CasaLuker. A partir de la caracterización física, se determinó que la densidad de la cacota de cacao producida en Colombia es de  $0.5 \pm 0.04 \text{ g/cm}^3$  (ASTM D792) y el contenido de humedad es de  $86 \pm 0.38 \%$  (ASTM D1348), valores que se encuentran en el rango reportado en la literatura para este tipo de residuos con un contenido alto de humedad y baja densidad [5]. Por otro lado, las propiedades térmicas de la cacota mostraron que a 200°C (TGA) comienza su degradación por temperatura, indicando que este valor es un límite térmico para procesar

la fibra. Así mismo, se encontró que la cacota tiene la siguiente composición química en porcentaje peso a peso:  $35.99 \pm 0.01\%$  de celulosa,  $15.47 \pm 0.01\%$  de hemicelulosa (ASTM E1758),  $26.91 \pm 0.98\%$  de lignina (NREL/TP-510-42618),  $3.73 \pm 0.03\%$  de extractivos (TAPPI T204),  $12.78 \pm 0.45\%$  de cenizas (ASTM E1755) y aproximadamente  $5.12\%$  de otros componentes que se podrían atribuir a pectinas. Estos valores se encuentran en el rango reportado en literatura para este tipo de residuos y su composición química es similar a la de la cascarilla de café [6] [7]. En general, la composición química de la cacota de cacao junto con su bajo valor de densidad son características que favorecen su uso como carga en el desarrollo de materiales compuestos.

Por extrusión se obtuvo el material compuesto de PLA/cacota de cacao particulada y se evaluaron las propiedades mecánicas de cuatro formulaciones en un rango de 0% al 30% p/p de cacota de cacao. De acuerdo a la prueba de tensión (ASTM D638) el esfuerzo máximo fue aproximadamente 60 MPa para todas las formulaciones exceptuando la del 30% p/p de cacota que disminuyó a 5 MPa, por lo cual altos contenidos de fibra disminuyen la resistencia del material. A partir de la prueba de impacto (ASTM D256) se determinó que el mejor resultado se logra usando un bajo porcentaje de cacota ( $11.67 \pm 3.68$  J/m), dado que se identificó una disminución de la resistencia a medida que se aumenta la cantidad de fibra debido a la baja adhesión interfacial entre el PLA y cacota de cacao, por lo cual se sugiere implementar tratamientos de modificación superficial sobre la fibra para mejorar la compatibilidad con el PLA. En conclusión, la cacota de cacao es un residuo agroindustrial que puede ser implementado para el desarrollo de materiales compuestos biodegradables usando contenidos de fibra intermedios, lo cual permite dar valor agregado a la cadena de valor de cultivo del cacao.

**Palabras Clave:** cacota de cacao, material compuesto, biodegradable, resina poliláctica

## Preparación y caracterización de un monolito basado en piedra pómez como soporte catalítico para la reducción del contenido de hollín en gases de escape de motores diésel

*Geraldine Gómez<sup>1</sup>, Alejandra Luna<sup>1</sup>, Leda Pernet<sup>1\*</sup>, Oscar 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 Materiales, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [ledapernett@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:ledapernett@mail.uniatlantico.edu.co)

### Resumen

La piedra pómez es una roca ígnea volcánica vítrea, con baja densidad utilizada generalmente con fines cosméticos; sin embargo, en los últimos años ha sido tema de interés en investigaciones. Por sus propiedades fisicoquímicas, porosidad, rugosidad, friabilidad y su capacidad como aislante térmico; la piedra pómez ha resultado ser un material favorable para la fabricación de filtros, abrasivos, y cementos.

En este trabajo se describe la formulación y fabricación de un soporte, en el cual se impregnará un catalizador sintetizado por el método de precipitación, utilizando acetato de zinc dihidratado y nitrato de cerio hexahidratado, con la finalidad de evaluar la capacidad de reducción de NOx y hollín presente en los gases de escape de motores diésel, utilizando piedra pómez comercial, que será el material principal acompañado de aglutinantes orgánicos como la carboximetilcelulosa(CMC), e inorgánicos como la bentonita, con el objeto de obtener una estructura compacta en forma de monolito.

Las composiciones de las fases presentes se determinaron utilizando DRX y XFR. En la mezcla preparada se utilizó un 75% para el material principal del soporte (piedra pómez) y un 25% para el aglutinante inorgánico (bentonita), utilizando como variantes las cantidades de carboximetilcelulosa y agua, ya que son los parámetros más críticos en la formulación de la pasta. Se obtuvieron 9 pastas diferentes las cuales fueron procesadas en un extrusor manual; luego de esto las pastas 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 pasta que presentó las mejores características como soporte fue para un porcentaje de CMC del 7% y para el agua del 48%.

**Palabras Clave:** Catálisis heterogénea, piedra pómez, soporte, monolito.

## Análisis del desempeño catalítico en hidrotratamiento de ni soportado

Rodrigo Valderrama<sup>1</sup>, Iván Mora, Edgar Morales<sup>1</sup>, Víctor Baldovino<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Catálisis -CICAT-UIS, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, km 2 Vía refugio, Sede UIS Guatiguará, Piedecuesta (Colombia)

\*Autor de Correspondencia: [vicbaldo@uis.edu.co](mailto:vicbaldo@uis.edu.co)

### Resumen

El consumo de combustibles a nivel mundial sigue en aumento. La combustión de estos puede generar compuestos gaseosos como los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) que son altamente contaminantes para el medio ambiente y perjudiciales para la salud. Para tratar de mitigar este impacto negativo, se opta por realizar procesos como el hidrotratamiento (HDT), con el fin de remover la mayor cantidad de heteroátomos que puedan contribuir a estas afectaciones. El fin de este trabajo se centra en explorar el comportamiento catalítico en reacciones de hidrotratamiento de Ni soportado en varios aluminosilicatos. Para esto, se utilizaron 4 soportes con diferente acidez: una sílice sin acidez (soporte neutral), una alúmina con acidez tipo Lewis únicamente, y dos zeolitas tipo Y, una con microporos únicamente, y la otra con la existencia de microporos y mesoporos simultáneamente; ambas zeolitas con acidez tipo Brønsted principalmente. A estos soportes se les impregnó Ni mediante el método de adsorción electrostática fuerte (SEA, por sus siglas en inglés). Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas tanto de los soportes como de los catalizadores y finalmente se probaron en reacciones de hidrodesulfuración (HDS) de dibenzotiofeno (DBT) con y sin la presencia de indol como compuesto nitrogenado. Los resultados mostraron que el uso de la zeolita micro- mesoporosa como soporte llevó a los valores de actividad más altos, mientras que con los catalizadores basados en la sílice y en la alúmina se presenta la más baja actividad en la HDS del DBT. También se observó que la presencia de un compuesto nitrogenado promueve la HDS del DBT, aumentando la conversión por un factor aproximado de 3.

**Palabras Clave:** níquel metálico, hidrot ratamiento, hidrosulfuración, zeolita jerárquica, adsorción electrostática fuerte.

## Efecto de la adición de aminoácidos en las propiedades emulsificantes de poligliceroles éster

*Iván E. Suárez-Acelas<sup>1\*</sup>, Gustavo E. Ramírez-Caballero<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Polímeros, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Cra 27 Calle 9 Bucaramanga

\*Autor de Correspondencia: [ivansuac@gmail.com](mailto:ivansuac@gmail.com)

### Resumen

La síntesis de poliglicerol está adquiriendo gran importancia debido a sus características notables, ya que debido al alto número de grupos hidroxilo se le confiere el carácter polar y la propiedad de poder modificarse por diferentes reacciones como la esterificación con ácidos grasos y aminoácidos. El poliglicerol (PG) es una molécula formada por grupos funcionales hidroxilo (OH) unidos por enlaces éter, que proviene de la reacción del glicerol con sí mismo en presencia de ácido sulfúrico al 1% p/p como catalizador. El objetivo de esta investigación se basa en la síntesis de una molécula tipo poliglicerol éster, que luego será evaluada como aditivo para asfaltos, el cual debe cumplir entre otras cosas, con la característica de ser anfifílica, catiónica y tener propiedades emulsificantes.

Poliglicerol (PG) fue sintetizado utilizando un reactor microondas. Se llevó a cabo reacción de esterificación con ácido oleico, ya que provee una característica hidrófoba al PG gracias a su longitud de cadena y a que presenta una insaturación que le aporta flexibilidad al polímero. Se modificó el poliglicerol éster (PGE) mediante reacciones de esterificación con dos aminoácidos: glutamina y ácido glutámico, y a diferentes tiempos de reacción. Estos aminoácidos difieren entre sí en cuanto a estructura, tamaño y carga eléctrica. La adición del grupo amino le confiere un carácter catiónico al polímero, además de la característica hidrofílica. Los PGE fueron caracterizados mediante análisis FTIR con el fin de analizar su información estructural y mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) con el fin de evaluar sus propiedades térmicas. Asimismo, se evaluaron las propiedades emulsificantes, mediante la formulación de emulsiones a 15000 rpm por 3 min utilizando como fase acuosa agua y como fase oleosa el aceite de palma. Se evaluó la estabilidad de las emulsiones por medio del tiempo de vida media. Así

mismo se evaluaron propiedades superficiales por el método de gota colgante y se analizó el potencial Z de cada una de ellas con respecto a su pH.

Los resultados FTIR muestran los grupos funcionales característicos de la molécula. Se determinó que los PGE modificados son capaces de estabilizar emulsiones W/O. También generan una notoria disminución en la tensión superficial del agua a bajas concentraciones. Con la información del potencial Z se determinó que el punto isoeléctrico de los PGE modificados se alcanza a un pH ácido. De esta manera los polímeros sintetizados tienen características prometedoras para ser aplicados en la aditivación de asfalto.

**Palabras Clave:** poliglicerol, aminoácido, emulsificante, aditivo.

## Degradación de azul de metileno bajo radiación solar en un reactor tubular usando $\text{TiO}_2$ modificado

*Sabrina Cardona<sup>1\*</sup>, Laura Conde<sup>1</sup>, Michael Lozano<sup>1</sup>, Eduard Murillo<sup>1</sup>, Paula Olivos<sup>1</sup>, Andrés Suarez<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Sostenibilidad en Procesos, Departamento de ingeniería, Universidad Jorge Tadeo Lozano  
Carrera 4 #22-61

\*Autor de Correspondencia: [sabrinag.cardonar@utadeo.edu.co](mailto:sabrinag.cardonar@utadeo.edu.co)

### Resumen

El azul de metileno es un colorante presente en aguas residuales, cuyo vertimiento ocasiona efectos adversos en plantas, animales y agua potable. Este contaminante puede ser degradado por medio de la luz visible o ultravioleta, en consecuencia, se puede aprovechar la radiación solar para lograr su degradación en sistemas de bajo costo operativo y amigables con el ambiente al hacer uso de este recurso renovable. El  $\text{TiO}_2$  es un material reconocido por su actividad fotocatalítica, que le permite generar radicales útiles para los procesos de degradación ante la incidencia de un fotón de suficiente energía que conduzca a la formación de un par electrón-hueco; sin embargo, al requerir fotones de alta energía, no tiene un buen desempeño en el espectro visible. Su modificación con plata ha demostrado ser efectiva para mejorar el uso de la radiación visible; además, los carbones activados presentan una elevada capacidad de adsorción de moléculas orgánicas, que permite retenerlas en la superficie durante el proceso de degradación. En consecuencia, se evaluó la degradación fotocatalítica empleando dos catalizadores, uno constituido por  $\text{TiO}_2$  y carbón activado

(66.6% TiO<sub>2</sub> 33.3% carbón activado) y otro conformado por carbón activado y TiO<sub>2</sub> modificado con Ag (65,8% de TiO<sub>2</sub>, 0,9% de Ag y 33,3% de carbón activado); para propiciar la unión entre el carbón activado y la fase activa, se realizó polimerización de anilina; el catalizador (0.05% del sistema reactivo) se mezcló con 700 mL de la solución de azul de metileno (15 ppm) en un recipiente agitado, y se hizo circular a través de un reactor tubular empleando una bomba peristáltica. Se cuantificó la radiación solar a lo largo del ensayo con un radiómetro, lo que permitió calcular la energía UV acumulativa por unidad de volumen de la solución tratada (QUV). Se realizó como referencia la fotólisis y la fotocatalisis con P25 para efectos de comparación. Los ensayos de degradación mostraron un mejor desempeño del catalizador de TiO<sub>2</sub> modificado con plata, que permitió alcanzar una concentración relativa de 0,36 empleando una menor cantidad de energía UV acumulativa por unidad de volumen, lo que demuestra la mejoría del funcionamiento del catalizador en el espectro visible al modificar el TiO<sub>2</sub> con plata. Además, el P25 logró la mayor disminución de la concentración relativa, alcanzando un valor por debajo de 0,1, lo que se atribuye a una mejor suspensión del P25 en el medio de reacción, gracias a su baja densidad.

**Palabras Clave:** Fotocatalisis, radiación solar, azul de metileno, catalizador modificado, polianilina.

## Derivados de almidón como aditivos en mezclas cementicias

*Andrea González-Córdoba<sup>1\*</sup>, Paulo César Rincón-Narváez<sup>1</sup>, Jairo E. Perilla<sup>1</sup>, Romel Morales<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia

<sup>2</sup>Departamento de Investigación y Desarrollo, Sika Colombia S.A. Tocancipá, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [angonzalezc@unal.edu.co](mailto:angonzalezc@unal.edu.co).

### Resumen

A partir de almidón de maíz nativo se produjeron los derivados sulfato, fosfato, maleato y óxido de almidón, se efectuó su caracterización estructural mediante las técnicas de espectroscopia de infrarrojo, resonancia magnética nuclear protónica, microscopía electrónica de barrido, difracción de rayos X y calorimetría de barrido diferencial. La estructura del gránulo se mantuvo casi intacta después de las modificaciones. Se evaluó el efecto de los derivados como aditivos químicos

en mezclas cementicias mediante las pruebas de flujo inicial, tiempo de fraguado y resistencia a la compresión a los siete días. En general, se identificó que los derivados tuvieron un efecto modificador de viscosidad de la pasta. Además, el sulfato, fosfato y maleato de almidón también mostraron un leve efecto retardador del fraguado. La adición de fosfato, maleato y óxido de almidón a la pasta redujo el desarrollo de la resistencia a los siete días con respecto al blanco.

**Palabras Clave:** Almidón, aditivos químicos, cemento

## Evaluación del tratamiento de residuos de poliestireno expandido para ser usados en la generación de productos con valor agregado

*Carlos Mauricio Angulo Zarate<sup>1</sup>, Felipe Salcedo Galán<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Diseño de Productos y Procesos (GDPP), Departamento de Ingeniería Química, Universidad de los Andes, Cra. 1 #18a 12, Bogotá

\*Autor de Correspondencia: [cm.angulo@uniandes.edu.co](mailto:cm.angulo@uniandes.edu.co)

### Resumen

Actualmente existen iniciativas que buscan limitar o prohibir el uso del poliestireno expandido, conocido como icopor, debido a la problemática ambiental asociada al mismo. Alternativamente se pueden reciclar los residuos de este material y convertirlos en productos con valor agregado, atacando aspectos como su baja densidad. En este trabajo se estudió la densificación del poliestireno expandido en aceites esenciales, seleccionados con base en la revisión bibliográfica. Los aceites seleccionados fueron: limoneno, aceite de naranja y aceite de citronela y se usaron como control tolueno y acetato de etilo. Se estudió la solubilidad del polímero en los aceites seleccionados y en mezclas de ellos con un enfoque más práctico que teórico, buscando llegar no a una condición de saturación sino a una disolución polímero/aceite con una viscosidad que permitiera su manejo en algún proceso posterior. Las concentraciones polímero/aceite determinadas variaron desde 0,30 hasta 0,42 p/p según el aceite. Los ensayos de solubilidad se hicieron a temperatura ambiente y se determinaron curvas de viscosidad vs velocidad de corte y análisis termogravimétrico (TGA) de cada disolución preparada. Luego se prepararon recubrimientos anticorrosivos con estas disoluciones y se comparó su desempeño con un anticorrosivo comercial evaluando las siguientes propiedades: viscosidad, tiempo de secado, adherencia, dureza y eficiencia

del comportamiento anticorrosivo. Finalmente, con una disolución en limoneno, usando etanol como solvente de extracción se hizo una recuperación de poliestireno al cual se le hizo un análisis termogravimétrico (TGA). Los resultados confirmaron resultados de densificación en Limoneno con una concentración de 0,42 p/p de poliestireno, pero sugieren que pueden usarse mezclas de aceites esenciales para mejorar ciertas propiedades. Además, optimizando variables de formulación se pueden obtener productos como recubrimientos con estas disoluciones. Así mismo la recuperación de poliestireno con etanol a partir de disoluciones en aceites esenciales podría ser un método viable y fácil de implementar.

**Palabras Clave:** Poliestireno expandido, Aceites esenciales, Solventes verdes, Reciclaje de plásticos, Densificación.

## Lime-based nano-paints for polar/non-polar liquids repellence: self-cleaning approach

*Daniel López<sup>1</sup>, Farid B. Cortés<sup>1</sup>, Camilo A. Franco<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Fenómenos de Superficie – Michael Polanyi, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín Kra 80 No 65-223.

\*Corresponding authors: [dalopezsu@unal.edu.co](mailto:dalopezsu@unal.edu.co)

### Resumen

In the last 50 years, there has been a significant increase in the use of synthetic paints for indoor and outdoor applications, mainly due to its wide range of available colors and easy usage. Acrylic/resin-based paints contain several types of heavy metals, volatile organic compounds (VOCs), non-degradable biocides and additives for microbial, physical and chemical protection that affect human health and the environment. Although traditional lime-based paints have emerged as an alternative due to their low cost and antibacterial character, there are some concerns related to their low durability, affecting its commercial feasibility. Currently, water repellency or self-cleaning properties of plant leaves have inspired the extensive development of anti-wetting surfaces for different applications. Engineered self-cleaning coatings require static contact angles (CA) higher than 150° and sliding angles (SA) lower than 10° to allow liquid droplets to pick up and remove dust, viruses, and bacteria during bouncing and rolling contact with the surface. Hence, the following study aims to evaluate the development of nano-paints based on the incorporation of SiO<sub>2</sub>, MgO, CaCO<sub>3</sub>, and CNTs (Car-

bon nanotubes) nanoparticles (NP) and a commercial fluorocarbon surfactant (named as SY) in lime-based paints for the development of self-cleaning paints in order to improve its resistance and durability for commercial applications. Nanoparticles characterization was performed by dynamic light scattering (DLS), point of zero charge (pHpzc), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and surface area (SBET). Static contact angles and sliding angle measurements were performed in order to evaluate the self-cleaning capacity of the obtained nano paints. Surface free energy (SFE) of the nano-paint was estimated by the Wu model, using three pure liquid compounds such as water (W), ethylene glycol (EG) and *n*-undecane (UD). The results reveal that polar/non-polar liquids repellence capacity depends on the SY dosage and the nanoparticles nature as agents for chemical modification and nano-roughness enhance. Liquid CA and SFE values for the prepared nano paints exhibit the following tendency: SY (UD:106.5°, EG: 145.6°, W: 154.6°, SFE: 13.7 mJ/m<sup>2</sup>) > SY + MgO (UD:115.2°, EG: 148.7°, W: 138.8°, SFE: 10.9 mJ/m<sup>2</sup>) > SY + CaCO<sub>3</sub> (UD:118.6°, EG: 164.4°, W: 165.3°, SFE: 7.7 mJ/m<sup>2</sup>) > SY + SiO<sub>2</sub> (UD:138.2°, EG: 156.1°, W: 159.7°, SFE: 5.4 mJ/m<sup>2</sup>) > SY + NTC (UD:128.2°, EG: 167.6°, W: 165.5°, SFE: 2.7 mJ/m<sup>2</sup>). The synergy between SY and the proposed nanomaterials allows SA values lower than 10°, which proves that a dual-scale micro/nanostructure and low surface energy in the coating, enhance the liquid repellence capacity, resistance, and durability of traditional lime-based paints. This development opens a landscape for the application of self-cleaning paint as protective and high durable coatings for several indoor and outdoor surfaces.

**Palabras Clave:** contact angle, lime-based paint, nanotechnology, surface energy models, self-cleaning coatings.

## Producción de micropartículas mediante tecnología de fluidos comprimidos: hacia un tratamiento eficaz para la enfermedad periodontal

*Camilo Pardo Castaño<sup>1</sup>, Gustavo Bolaños<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Termodinámica Aplicada y Fluidos Supercríticos Escuela de Ingeniería Química, Universidad del Valle,  
CL 13 100-00 Edificio E27, Cali, Colombia.

\*Autor de Correspondencia: [gustavo.bolanos@correounivalle.edu.co](mailto:gustavo.bolanos@correounivalle.edu.co)

### Resumen

La enfermedad periodontal es una infección crónica que destruye los tejidos que dan soporte al diente, y es producto de una disbiosis microbiana oral. Es altamente prevalente en el mundo, representa un problema de salud pública, y está interrelacionada con enfermedades sistémicas; entre ellas, enfermedades cardíacas y respiratorias, cáncer y Alzheimer.

Los tratamientos convencionales para esta enfermedad en general no permiten erradicar los microorganismos en áreas subgingivales, o causan efectos secundarios y resistencia bacteriana debido a las altas dosis necesarias para lograr efecto terapéutico. En contraste, los sistemas de liberación controlada tienen un efecto terapéutico localizado y prolongado que permite reducir tiempo y costo del tratamiento, así como los efectos secundarios. Entre estos sistemas sobresale el uso de micro y nanopartículas con agentes activos encapsulados.

En este trabajo se desarrolló un nuevo proceso para producir micropartículas de dos agentes activos contra la enfermedad periodontal, colinina e isocolinina, encapsulados en quitosano, el cual se denominó Gelación Iónica Asistida por Fluidos Comprimidos (IGACF, en inglés). Brevemente, en el proceso se produce una solución de quitosano-agua-CO<sub>2</sub> o una suspensión colininas-(quitosano-agua-CO<sub>2</sub>) en una celda de alta presión. Una vez la solución/suspensión se ha formado, una solución acuosa de trifosfato pentasódico (TPP) se dosifica por goteo para producir micropartículas de quitosano o colinina en quitosano entrecruzado con TPP. Este proceso permitió obtener partículas de quitosano-TPP con tamaños de partícula promedio entre 0.2 y 6.4  $\mu\text{m}$ , con índices de polidispersidad de hasta 0.01, y micropartículas de colininas-quitosano-TPP con un tamaño promedio de 2.9  $\mu\text{m}$ , índice de polidispersidad de 0.02, eficacia de encapsulación del

72%, y contenido másico de colininas del 4%. Los resultados indican que este proceso tiene el potencial para producir nuevos productos eficaces para tratamiento de la enfermedad periodontal.

**Palabras Clave:** enfermedad periodontal, colininas, quitosano, CO<sub>2</sub>, micropartícul

## Metformin degradation using TiO<sub>2</sub>/CuO heterojunction supported on SiO<sub>2</sub> granules in a fluidized bed photoreactor (FBF)

Ricardo Solano<sup>1</sup>, María Jaramillo<sup>2</sup>, Adriana Herrera<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Nanomaterials and Computer Aided Process Engineering Research Group, Doctorate in Engineering Program, Universidad de Cartagena, Piedra de Bolívar Campus, Street 30 #48-152, Office D307

<sup>2</sup>Tecnoparque Nodo Bucaramanga, Centro Industrial del Diseño y la Manufactura – CIDM, Servicio Nacional De Aprendizaje-SENA, Bucaramanga, Colombia

\*Autor de Correspondencia: [rsolanop@unicartagena.edu.co](mailto:rsolanop@unicartagena.edu.co)

### Abstract

Among the most prescription antidiabetic drugs worldwide is Metformin because it represents the first line of oral treatment for patients who have Type 2 Diabetes, becoming one of the most abundant drugs in wastewater effluents in the pharmaceutical, hospital and domestic industries due to its annual consumption by 150 million people (Adel & Rostamizadeh, 2020; Fernando et al., 2020); Besides, this medicine is not metabolized by the human body and is excreted entirely by urine (70%) and feces (30%), generating ecosystem alterations because it is considered from various toxicological studies as a potential endocrine disruptor (Aseman-bashiz & Sayyaf, 2020). This research proposal proposes a rigorous study focused on the photocatalytic degradation of Metformin using the heterojunctions of TiO<sub>2</sub>/CuO (type-n/type-p semiconductors) prepared through green chemistry methods using aqueous extract of Moringa (*Moringa oleifera*) in order to obtain heterostructures with excellent optical and photocatalytic properties without negative environmental impact; also, these materials will be supported or immobilized on silica granules (SiO<sub>2</sub>) from beach sand to facilitate its separation and reuse; also, the materials will be characterized by instrumental techniques such as HRTEM-EDS-SAED, SEM-EDS, XRD, XPS, PL, CL, UV-vis DRS, BET area and porosity, TGA-DSC, FTIR, and pHzpc. The granular photocatalyst's per-

formance will be evaluated in a lab-scale fluidized bed photoreactor, verifying the influence of operational conditions (flow, pH, and catalyst dose), considering the by-products and reaction mechanisms involved. Finally, a toxicological study (based on a biological model) of the effluents treated by heterogeneous photocatalysis will be carried out to relate their toxicological profile with the identified reaction by-products.

**Palabras Clave:** Green chemistry, heterojunctions, green chemistry, photocatalysis, toxicology.

## References

- Adel, H., & Rostamizadeh, M. (2020). Adsorption of metformin from an aqueous solution by Fe-ZSM-5 nano-adsorbent: Isotherm, kinetic and thermodynamic studies. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 142, 106003. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2019.106003>
- Aseman-bashiz, E., & Sayyaf, H. (2020). Metformin degradation in aqueous solutions by electro-activation of persulfate and hydrogen peroxide using natural and synthetic ferrous ion sources. *Journal of Molecular Liquids*, 300, 112285. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.112285>
- Fernando, L., Beatriz, H., Luiza, A., Portela, D. B., Guttierrez, R., & Bergamasco, R. (2020). Development of a new low-cost adsorbent functionalized with iron nanoparticles for removal of metformin from contaminated water. *Chemosphere*, 247, 125852. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125852>

## Estudio del impacto de la distribución de tamaño de partícula sobre la reología de una dispersión polimérica concentrada

Edward J. Arenas Calderon\*, Adrián M. Ramírez y Daniel H. Builes

Centro de Investigación y Desarrollo de Andercol. Carrera 64 C No. 95 – 84, Autopista Norte, Medellín, Colombia

\*Autor de Correspondencia: edward.arenas@andercol.com.co

### Resumen

En la búsqueda de aumentar su productividad, la industria de fabricación de estructuras laminadas como cintas, etiquetas, litografía, etc. ha adoptado tecnologías de alta velocidad para el recubrimiento e impregnación de los diferentes sustratos usando para ello dispersiones poliméricas de base acuosa. Este proceso requiere rápido secado y dispersiones con una reología tal que a alta cizalla garantice bajas viscosidades para lograr una alta transferencia hacia el sustrato, pero que a baja cizalla mantenga una película uniforme y sin defectos. Para lograr un rápido secado y alta productividad, una de las estrategias es emplear una dispersión polimérica de bajo contenido de volátiles, reduciendo así la cantidad de agua a secar. El reto consiste entonces en lograr a velocidades de deformación superiores a  $10^3 \text{ s}^{-1}$ , reologías newtonianas, y viscosidades tan bajas como sea posible, mientras se maximiza el contenido de polímero.

El control de la distribución de tamaño de partícula es una de las mejores estrategias que permiten aumentar los sólidos de estos sistemas, manteniendo la viscosidad en niveles que permiten su manejo. Surge entonces la necesidad de entender cómo la morfología de las partículas modifica el comportamiento reológico de la dispersión polimérica en un rango amplio de velocidades de deformación. Considerando lo anterior, en este trabajo se realizó un estudio reológico de una dispersión polimérica fabricada en Andercol, mediante el acople de varias técnicas reológicas, lo cual permite ampliar el rango de velocidades de deformación. Si bien las dispersiones poliméricas convencionales podrían tener un comportamiento reológico pseudoplástico, se logró establecer una distribución de tamaño de partícula que modifica este comportamiento y sus parámetros característicos. Así mismo, se estableció la relación entre la morfología del sistema y la aparición del segundo *plateau* newtoniano y la velocidad de deformación a la cual aparece el mismo.

**Palabras Clave:** Dispersión polimérica, distribución de tamaño de partícula, reología, recubrimiento

## Acercamiento al arreglo estructural de una resina de poliéster insaturado por medición de transparencia

*Daniel Marín<sup>1</sup>, Álvaro Gómez<sup>1</sup>, Daniel H. Builes<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup>Centro de investigación y desarrollo Andercol, Andercol S.A.S.  
Cl. 19A No. 43b-41, Medellín, Colombia.,

\*Autor de Correspondencia: [daniel.marin@andercol.com.co](mailto:daniel.marin@andercol.com.co)

### Resumen

Las aplicaciones de resina de poliéster insaturado (UPR) continúan creciendo a nivel mundial debido a su bajo costo en comparación con otras resinas. Una exigencia comercial es el nivel de transparencia de la resina curada, la cual es una propiedad demandada por bienes de consumo como la fabricación de botones, caretas de protección, y el sector de la construcción en la elaboración de tejas, mármol sintético, etc.

Una UPR convencional está compuesta por un polímero de poliéster que tiene insaturaciones reactivas en su cadena (UP), disuelto en un solvente vinílico que suele ser estireno (ST). Debido a las propiedades de miscibilidad durante el curado, se forma una estructura heterogénea, la cual presenta alta transparencia dada su distribución de fases nanométrica. La transparencia de una pieza elaborada con UPR depende de la estructuración de las fases que presente el termoes-table final. En el caso de las UPRs puras, la concentración de ST, la composición química del UP, y las condiciones de curado son factores que modifican la distribución de fases. Por otro lado, en los materiales compuestos y/o cargados, el nivel de transparencia va a depender de la miscibilidad, tamaño y concentración de los modificadores de la UPR.

Una consecuencia de los cambios en la estructura de fases interna de una UPR se evidencia en el cambio de transparencia óptica (TO), entendiendo ésta como la capacidad que tiene un material para permitir que la luz de un objeto lo atraviese en el rango visible sin distorsionar la imagen del mismo. El fenómeno de TO se caracteriza midiendo la transmitancia especular (TE) cuando la luz atraviesa el material sin variar su dirección respecto al haz de luz incidente, y la transmitancia

difusa cuando la luz cambia su dirección. El esparcimiento de luz visible de un material varía según las características de los centros de esparcimiento presentes en su estructura, los cuales son zonas con diferente índice de refracción, dándose la dispersión máxima cuando los centros involucrados son del orden de la longitud de onda del espectro visible. En el caso de las UPR curadas, estos centros pueden ser heterogeneidades microscópicas en sus fases o materiales añadidos. La medición de la transparencia a través de la transmitancia óptica puede ser un puente para caracterizar cómo modificaciones en la formulación de la UPR afectan su estructura interna. En conclusión permite evaluar una amplia gama de factores que afecten la propiedad de estudio.

Considerando lo anterior, este trabajo desarrolló un método para tener un indicativo de la estructuración de fases de una UPR por medio de la variación en la transparencia del termoestable final. La transparencia fue abordada a través de mediciones de TE en el espectro visible. Se realizaron mediciones en UPRs con variación en la concentración de ST, uso de modificadores de la UPR, y variaciones en la formulación del UP. Se pudo notar que existe una relación estrecha entre dichas modificaciones y los valores de transmitancia, los cuales afectan la transparencia y permiten obtener información de la estructuración interna del material final.

**Palabras Clave:** Resina de poliéster insaturado, transparencia, transmitancia, miscibilidad.

## Desarrollo de soportes biocompatibles basados en plasma humano con potencial aplicación en ingeniería de tejidos

Ana Isabel Ramos Murillo<sup>1,2</sup>, Ingrid Zulay Silva Cote<sup>2</sup>, Bernardo Camacho Rodríguez<sup>2</sup>,  
Gustavo Salguero López<sup>2</sup>, Rubén Darío Godoy Silva<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Procesos Químicos y Bioquímicos, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Laboratorio de Ingeniería Química (Edificio 412), Ciudad Universitaria – Universidad Nacional de Colombia, Carrera 30 No. 45-03, Bogotá D.C., Colombia

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Medicina Transfusional, Tisular y Celular (GIMTTYC), Unidad de Terapias Avanzadas, Instituto Distrital de Ciencia, Biotecnología e Innovación en Salud (IDCBIS), Carrera 32 No. 12-81 Edificio IDCBIS, Secretaría Distrital de Salud, Bogotá D.C., Colombia

\*Autor de Correspondencia: [rdgodoy@unal.edu.co](mailto:rdgodoy@unal.edu.co)

### Resumen

Cada día en el mundo se llevan a cabo millones de procedimientos quirúrgicos con el objetivo de reemplazar o reparar tejidos que ha sido dañados como consecuencia de enfermedades o accidentes. La necesidad creciente de tejidos y órganos para reemplazo y/o reparación dio lugar a lo que hoy se conoce como “ingeniería de tejidos”, que comprende una serie de áreas del conocimiento que permiten la combinación de células con moléculas biológicamente activas en un biomaterial poroso, que actúa como soporte para la regeneración y orientación de la formación de nuevo tejido.

Las células estromales mesenquimales (CEM) se emplean en numerosas aplicaciones terapéuticas debido a su capacidad regenerativa y multipotente. La ingeniería de tejidos es uno de los campos más promisorios de aplicación de CEM debido a la capacidad de este tipo de células de diferenciarse en múltiples linajes como adipocitos (tejido graso), osteocitos (hueso) y condrocitos (cartílago). Esta multipotencialidad está mediada por una serie de factores inductivos necesarios para la diferenciación de las CEM a los linajes específicos.

El objetivo del presente trabajo consistió en el desarrollo de un soporte biocompatible de plasma humano para el crecimiento y diferenciación de células estromales mesenquimales. Se emplearon CEM de gelatina de Wharton modificadas previamente en nuestro laboratorio para expresar constitutivamente la proteína verde fluorescente (CEM-GW-GFP), las cuales fueron embebidas en

soportes de plasma humano crioconcentrado (PHCC). Se evaluó el efecto de la densidad celular de siembra y la concentración de fibrinógeno en el PHCC en la diferenciación de las CEM-GW-GFP hacia los linajes adipogénico, osteogénico y condrogénico. Se encontró que el soporte de PHCC favorece la diferenciación hacia adipocitos y osteocitos. Así mismo, se encuentra una diferenciación temprana hacia los diferentes linajes en comparación con los cultivos en monocapa.

Los resultados obtenidos nos permiten afirmar que los soportes de PHCC, no solo permiten el crecimiento de las CEM-GW-GFP, sino que también favorecen su diferenciación, lo que hacen de este un material promisorio para su uso en ingeniería de tejidos.

**Palabras Clave:** Matrices activadas génicamente, plasma humano, plásmido, transfección, células estromales mesenquimales

## Nanopartículas de polietilenimina y adn plasmídico para la transfección de células estromales mesenquimales

334

*ana Isabel Ramos Murillo<sup>1,2</sup>, Elizabeth Rodríguez Carreño<sup>1</sup>, Leslie Vanessa Sánchez Castillo<sup>1</sup>, Cristian Alejandro Ricaurte Pérez<sup>2</sup>, Karl Michael Beltrán Ricaute<sup>2</sup>, Bernardo Camacho Rodríguez<sup>2</sup>, Gustavo Salguero López<sup>2</sup>, Rubén Darío Godoy Silva<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Procesos Químicos y Bioquímicos, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Laboratorio de Ingeniería Química (Edificio 412), Ciudad Universitaria – Universidad Nacional de Colombia, Carrera 30 No. 45-03, Bogotá D.C., Colombia

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Medicina Transfusional, Tisular y Celular (GIMTTYC), Unidad de Terapias Avanzadas, Instituto Distrital de Ciencia, Biotecnología e Innovación en Salud (IDCBIS), Carrera 32 No. 12-81 Edificio IDCBIS, Secretaría Distrital de Salud, Bogotá D.C., Colombia

\*Autor de Correspondencia: [rdgodoy@unal.edu.co](mailto:rdgodoy@unal.edu.co)

### Resumen

Las células estromales mesenquimales obtenidas de la gelatina de Wharton del cordón umbilical de neonatos (CEM-GW) se emplean en numerosas aplicaciones terapéuticas debido a su capacidad regenerativa y multipotente. La ingeniería de tejidos es uno de los campos más promisorios de aplicación de CEM-GW debido a la capacidad de este tipo de células de diferenciarse en múltiples linajes como adipocitos (tejido graso), osteocitos (hueso) y condrocitos (cartílago).

Las CEM-GW presentan varias ventajas sobre otras fuentes de células madre multipotentes, no solo porque se obtienen del cordón umbilical neonatal, que se considera un desecho biológico, sino también porque muestran una mayor tasa de proliferación y baja senescencia en pasajes posteriores en comparación con las células del estroma obtenidas de otras fuentes.

Así mismo, la capacidad multipotencial de las CEM-GW puede reforzarse si las células se modifican genéticamente para dirigir su diferenciación hacia un linaje específico. En ese sentido, el objetivo del presente trabajo fue desarrollar una metodología para la modificación genética (transfección) de CEM-GW utilizando nanopartículas de polietiliminina (PEI) y ADN plasmídico. Para lograr dicha modificación se prepararon nanopartículas de PEI y un plásmido que codifica para la proteína verde fluorescente (pGFP), a diferentes concentraciones de polímero y de plásmido y se caracterizaron por tamaño, potencial zeta y citotoxicidad. Así mismo, en la condición de relación másica de polímero y plásmido donde se obtuvieron las mayores eficiencias de transfección, se evaluó el inmunofenotipo, las propiedades de inmunomodulación y la capacidad multipotencial de WJ-MSC.

Mediante el desarrollo del presente trabajo, se establecieron las concentraciones de plásmido y PEI que tienen las mejores eficiencias de transfección. Así mismo, se encontró que la transfección con PEI no afecta el inmunofenotipo, las propiedades inmunomoduladoras y la capacidad de diferenciación de las CEM-GW.

Estos resultados son bastante significativos, dado que, con la metodología desarrollada en el presente trabajo, es posible a futuro modificar las CEM-GW con un gen que dirija su diferenciación hacia un linaje específico, lo cual sería de gran relevancia para el área de ingeniería de tejidos.

**Palabras Clave:** Transfección, células estromales mesenquimales de gelatina de Wharton (CEM- GW), polietiliminina, nanopartículas, ADN plasmídico

## Evaluación del tratamiento de residuos de poliestireno expandido para ser usados en la generación de productos con valor agregado

Carlos Mauricio Angulo Zarate<sup>1\*</sup>, Felipe Salcedo Galán<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Diseño de Productos y Procesos (GDPP), Departamento de Ingeniería Química, Universidad de los Andes, Cra. 1 #18a 12, Bogotá

\*Autor de Correspondencia: cm.angulo@uniandes.edu.co

### Resumen

Actualmente existen iniciativas que buscan limitar o prohibir el uso del poliestireno expandido, conocido como icopor, debido a la problemática ambiental asociada al mismo. Alternativamente se pueden reciclar los residuos de este material y convertirlos en productos con valor agregado, atacando aspectos como su baja densidad. En este trabajo se estudió la densificación del poliestireno expandido en aceites esenciales, seleccionados con base en la revisión bibliográfica. Los aceites seleccionados fueron: limoneno, aceite de naranja y aceite de citronela y se usaron como control tolueno y acetato de etilo. Se estudió la solubilidad del polímero en los aceites seleccionados y en mezclas de ellos con un enfoque más práctico que teórico, buscando llegar no a una condición de saturación sino a una disolución polímero/aceite con una viscosidad que permitiera su manejo en algún proceso posterior. Las concentraciones polímero/aceite determinadas variaron desde 0,30 hasta 0,42 p/p según el aceite. Los ensayos de solubilidad se hicieron a temperatura ambiente y se determinaron curvas de viscosidad vs velocidad de corte y análisis termogravimétrico (TGA) de cada disolución preparada. Luego se prepararon recubrimientos anticorrosivos con estas disoluciones y se comparó su desempeño con un anticorrosivo comercial evaluando las siguientes propiedades: viscosidad, tiempo de secado, adherencia, dureza y eficiencia del comportamiento anticorrosivo. Finalmente, con una disolución en limoneno, usando etanol como solvente de extracción se hizo una recuperación de poliestireno al cual se le hizo un análisis termogravimétrico (TGA). Los resultados confirmaron resultados de densificación en Limoneno con una concentración de 0,42 p/p de poliestireno, pero sugieren que pueden usarse mezclas de aceites esenciales para mejorar ciertas propiedades. Además, optimizando variables de formulación se pueden obtener productos como recubrimientos con estas disoluciones. Así mismo la recuperación de poliestireno con etanol a partir de disoluciones en aceites esenciales podría ser un método viable y fácil de implementar.

**Palabras Clave:** Poliestireno expandido, Aceites esenciales, Solventes verdes, Reciclaje de plásticos, Densificación.

## Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de cacao para remover plomo y arsénico del agua

*Yesid Zambrano Salgado<sup>1\*</sup>, Yerson Arles Solórzano Fernández<sup>1</sup>, Jorge Castillo Olaya<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación GIEIAM, Facultad de ingeniería, Universidad Santiago de Cali, Cali (Valle)

\*Autor de correspondencia: [yesid.zambrano00@usc.edu.co](mailto:yesid.zambrano00@usc.edu.co)

### Resumen

En Colombia se presenta con frecuencia la presencia de metales pesados en sus aguas superficiales y subterráneas. Los metales pesados son la causa de graves enfermedades que afectan seres humanos y animales, sin embargo los sistemas de tratamiento de aguas para consumo humano no incluyen etapas o equipos para su remoción. La remoción de metales pesados con carbón activado ha mostrado ser efectiva pero su implementación a gran escala requiere que el carbón activado sea de bajo costo, lo cual se logra parcialmente con una materia prima económica, por lo cual el interés se ha centrado en los últimos años en la elaboración de este material con residuos agrícolas. La capacidad de adsorción del carbón activado depende ampliamente de las características del precursor, tipo de catalizador y de las variables de elaboración del carbón activado. En este trabajo se evaluó la capacidad de adsorción de metales pesados como arsénico y plomo utilizando como precursor la cáscara de cacao (residuo agrícola). El objetivo de este trabajo fue encontrar valores apropiados para la preparación del carbón activado para obtener una elevada capacidad de adsorción. Las variables estudiadas para la elaboración del carbón activado fueron la temperatura (400, 500 y 600 °C) y tiempo de activación (1 h, 2 h y 3 h), el tipo de catalizador (ácido fosfórico y cloruro de Zinc) y relación catalizador/biomasa (0.5/1, 1/1 y 1.5/1 p/p). La materia prima se caracterizó con el análisis próximo y experimental. Para los carbones activados obtenidos se les evaluó la capacidad de adsorción utilizando soluciones sintéticas con plomo o arsénico a concentraciones iniciales fijas. Adicionalmente se midió el índice de yodo a los carbones activados obtenidos y se realizó un análisis de los grupos funcionales obtenidos utilizando FTIR.

**Palabras Clave:** Carbón Activado, Metales pesados, Cáscara de cacao.

## Análisis de nuevas tendencias de ingeniería química en investigación

Desde la investigación en ingeniería química en Colombia se observó un creciente interés de la academia e industria hacia el área de bioprocesos, seguido por materiales y tópicos ambientales. El tema central de la mayoría de las contribuciones científicas presentadas en este libro de memorias correspondió a procesos de transformación de biomateriales en productos de valor agregado para atender problemáticas medioambientales como la contaminación. Las áreas de emprendimiento e innovación en ingeniería química y de economía circular mostraron ser transversales en más de la mitad de los resúmenes analizados. La participación de la industria en estos avances en Ciencia, Tecnología e Innovación correspondió al 11%, mientras que las universidades con mayor participación fueron la Universidad de Cartagena (18%), la Universidad Nacional (15%) y la Universidad Jorge Tadeo Lozano (8%).

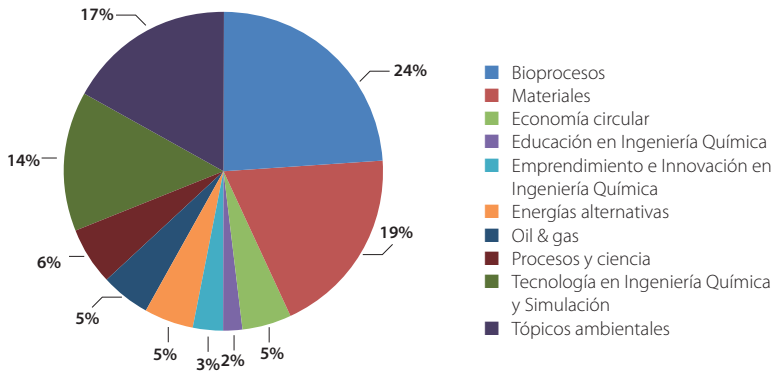


Figura. Contribuciones científicas por línea temática

## Iniciativas de emprendimiento desde la ingeniería química

### Nueva Metodología de Emprendimiento

Nuevos espacios de innovación soportados en plataformas *Kick-off* han sido impulsados desde la educación en ingeniería química. Ejemplo de esto es el "IQuyca", una iniciativa desarrollada por la Universidad EAN en alianza con la Asociación Colombiana de Ingeniería Química - ACIQ Capítulo Bogotá, y con el apoyo del Consejo Profesional de Ingeniería Química de Colombia – CPIQ, para que profesionales y estudiantes con un prototipo validado o producto desarrollado, dispuestos a ser lanzado frente a expertos en inversión, marketing, emprendimiento, industria y academia participen de un proceso de construcción, relacionamiento y apalancamiento de emprendimientos. La palabra IQuyca está inspirada en el vocablo muisca de origen amerindio, dando la importancia y majestuosidad al mundo como fuente fundamental 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.

La dinámica consistió en la postulación del prototipo, la cual desencadena la etapa llamada leta (vientre - lugar donde se gesta la vida) para la verificación del prototipo por parte de la organización. Consecuentemente, los que cumplieron la verificación entraron a la etapa Mohán (Ser mítico que cuida tesoros), en donde fueron expuestos los prototipos y productos a los expertos para su valoración. Posteriormente, se pasó a la etapa Jurgunero (palo para atizar la candela), los prototipos fueron presentados en público ante la banca de expertos y la comunidad en general. Finalmente, los prototipos y/o productos recibieron valoraciones por parte de los participantes al IQuyca para seleccionar la solución innovadora, esta etapa es llamada Ata (Número uno).

La participación de los ingenieros químicos en esta actividad reveló el potencial innovador y el liderazgo en emprendimiento que están adquiriendo desde etapas tempranas de formación para generar oportunidades de empleo y contribuir al desarrollo económico de Colombia.

## Panel Emprendimiento, Creatividad y Pasión

Espacio inspirador para transmitir modelos de vida, experiencias, rutas y experiencias de emprendedores. En primer panel describe el escenario exclusivo para emprendedores y apasionados por la ingeniería química, espacio descrito como EMPRENDIMIENTO, CREATIVIDAD Y PASIÓN. Estructura denota un espacio que describe la formación persona, situaciones que conducen a la Ingeniería Química desde la niñez, experiencias y recuerdos de la universidad, momentos emprendedores, caminos y prospectivas, el panel fue integrado por IQ. Claudia Elena Vásquez Ángel, IQ. Luísa Fernanda Ríos Pinto e IQ. Diana Elizabeth Romero Tobar desarrollando una escenario estelar, desbordado de experiencias emprendedoras.

## Agradecimientos

### COMITÉ ORGANIZADOR 30 CONGRESO COLOMBIANO DE INGENIERÍA QUÍMICA 2020

#### Asociación Colombiana de Ingeniería Química - ACIQ

Jairo Ernesto Perilla Perilla  
Salomé Correa Galeano

#### Consejo Profesional de Ingeniería Química - CPIQ

Jeffrey León Pulido  
Marcelo Enrique Riveros Rojas  
Darly Miranda Barbosa  
Daniela Alejandra Barbosa Guerrero

#### Universidad Nacional de Colombia

Jairo Ernesto Perilla Perilla  
Ángela Aurora Beltrán Osuna

#### Universidad EAN

Jeffrey León Pulido  
Jéssica Lorena González Leguizamó

## Comité académico

**Director Académico:** Ángel Darío González Delgado, Universidad de Cartagena.

**Secretaria Científica:** Kariana Andrea Moreno Sader, Universidad de Cartagena.

## COMITÉ

**Adriana Herrera Barros**  
Universidad de Cartagena

**Alejandro Molina Ochoa**  
Universidad Nacional de Colombia  
sede Medellín

**Ángela María Otálvaro Álvarez**  
Universidad de la Salle

**Arturo González Quiroga**  
Universidad del Norte

**Bibian Alonso Hoyos Madrigal**  
Universidad Nacional sede Medellín

**Camilo Andrés López Santamaría**  
Universidad ECCI

**Carlos Jiménez Junca**  
Universidad de la Sabana

**Carlos Jesús Muvdi Nova**  
Universidad Industrial de Santander

**Carmen Cecilia Ramírez Pérez**  
Universidad Pontificia Bolivariana

**César Augusto Botache Duque**  
Universidad de Antioquia

**Felipe Bustamante Londoño**  
Universidad de Antioquia

**Gener Santiago Ortega**  
SENA

**Gerardo Rodríguez Niño**  
Universidad Nacional de Colombia

**Jacqueline Corredor Acuña**  
Universidad de Pamplona

**Laura Rosa Conde Rivera**  
Universidad Jorge Tadeo Lozano

**Leonardo de Jesús Herrera  
Gutiérrez**  
Fundación Universidad de América

**Lilia Carolina Rojas Pérez**  
Universidad EAN

**Mayerlenis Jiménez Rojas**  
Universidad del Atlántico

**Melvin Durán Rincón**

Universidad Tecnológica de Pereira

**Nilson de Jesús Marriaga Cabrales**

Universidad del Valle

**Óscar Yesid Suárez Palacios**

Universidad Nacional de Colombia

**Paola Maradei García**

Universidad Industrial de Santander

**Ramiro Betancourt Grajales**

Universidad Nacional de Colombia

**José Ricardo Forero Mendieta**

SENA

**Ruth Janeth Lancheros Salas**

Universidad Nacional de Colombia

**Tebbie Lin Chacón Lee**

Universidad de la Sabana

**Líderes Ejes Temáticos:**

**Mary Judith Arias Tapia**

Universidad Tecnológica de Bolívar

**Janet Bibiana García Martínez**

Universidad Francisco de Paula  
Santander

**Ángel Darío González Delgado**

Universidad de Cartagena

**Débora Alcida Nabarlatz**

Universidad Industrial de Santander

**Juan Sebastián Guerrero Pérez**

Universidad del Valle

**José Alejandro Martínez**

**Sepúlveda**

Universidad EAN

**Juliana Puello Méndez**

Universidad San

Buenaventura-Cartagena

**Paola Andrea Acevedo Pabón**

Universidad Cooperativa de  
Colombia

**Nubia Yineth Piñeros Castro**

Universidad Jorge Tadeo Lozano

**Andrés Fernando González Barrios**

Universidad de los Andes

Empresas, Universidades y Agremiaciones:



Universidad de Cartagena  
Fundada en 1827



