

# ciencias e ingenierías

de la investigación  
a la innovación

**Patricia Abraham Peñaloza**  
**Sabina I. Lara Cabrera**

Coordinadoras

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo  
Coordinación de la Investigación Científica  
Unidad Profesional del Balsas

2021



# Ciencias e ingenierías: de la investigación a la innovación

Patricia Abraham Peñaloza  
Sabina I. Lara Cabrera

**Coordinadoras**

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo  
Coordinación de la Investigación Científica  
Unidad Profesional del Balsas

**2021**

## **Directorio**

**Dr. Raúl Cárdenas Navarro**

*Rector*

**Mtro. Pedro Mata Vázquez**

*Secretario General*

**Dr. Orépani García Rodríguez**

*Secretario Académico*

**Dr. Rodrigo Gómez Monge**

*Tesorero*

**Dr. Héctor Pérez Pintor**

*Secretario de Difusión Cultural y Extensión Universitaria*

**M.E. en M.F. Silvia Hernández Capi**

*Secretaria Administrativa*

**Dr. Juan Carlos Gómez Revuelta**

*Secretario Auxiliar*

**Dr. Marco Antonio Landavazo Arias**

*Coordinador de la Investigación Científica*

**C.M.C. Julio Vargas Medina**

*Coordinador de Planeación, Infraestructura y Fortalecimiento Universitario*

**Lic. Luis Fernando Rodríguez Vera**

*Abogado General*

**Mtro. Rodrigo Tavera Ochoa**

*Contralor*

**Dra. Patricia Abraham Peñaloza**

*Directora de la Unidad Profesional del Balsas*

Este libro forma parte del programa institucional de actividades de la Coordinación de la Investigación Científica y de la Unidad Profesional del Balsas, y se publica de conformidad con el artículo 5 del Reglamento Editorial de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

***Ciencias e ingenierías: de la investigación a la innovación***

Patricia Abraham Peñaloza y Sabina I. Lara Cabrera (coordinadoras)

**Primera edición 2021**

D.R. © Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Coordinación de la Investigación Científica

Unidad Profesional del Balsas

Edificio C-2, Área de institutos, Ciudad Universitaria

CP 58030, Morelia, Michoacán, México

coordinación.investigacion.cientifica@umich.mx

**ISBN:** 978-607-542-205-3

Lourdes Rosángel Vargas

**Corrección de estilo**

**Diseño editorial:** Liliana Diaz Lomeli

Queda prohibida la reproducción parcial o total del contenido de la presente obra, incluido el diseño de interiores y de portada, sea cual fuere el medio electrónico o mecánico sin contar previamente con la autorización expresa y por escrito de los titulares, en los términos de la Ley Federal de Derechos de Autor y, en su caso, de los tratados internacionales aplicables. La persona que infrinja esta disposición se hará acreedora a las sanciones legales correspondientes.

Impreso y hecho en México

*Printed and made in Mexico*

# Índice

<b>Presentación</b>	<b>9</b>
<b>I. Ecología y sustentabilidad</b>	
Relevancia trófica del sistema lagunar costero de Mandinga a partir de 11 años de datos ambientales (otoño e invierno)	<b>13</b>
<i>Elizabeth García Baeza, Javier Aldeco Ramírez, Laura Lisbeth Buendía Buendía</i>	
Humedales: su importancia para controlar la contaminación producida por la descarga de agua residual	<b>28</b>
<i>Gabriel Martínez Herrera, Juan Camacho Orozco</i>	
La sección <i>Incarnatae</i> de <i>SALVIA</i> subgénero <i>Calosphace</i> (Lamiaceae)	<b>33</b>
<i>Liliana Andrés Hernández, María de la Luz Pérez García, Sabina I. Lara Cabrera</i>	
Producción artesanal sustentable de miel de caña de azúcar en comunidades de Tabasco, México	<b>43</b>
<i>Kent Jiménez Jiménez, Ana Laura Luna Jiménez, Nicolás González Cortés y Román Jiménez Vera</i>	
¿Cómo ha influido la pandemia de coronavirus en el medio ambiente?	<b>50</b>
<i>Ma. del Carmen Arias Valencia, Marcela Patricia del Toro Valencia, José Manuel Tovar Herrera</i>	
<b>II. Zootecnia y Acuicultura</b>	
Impacto del estrés ambiental en la calidad microbiológica de la leche del ganado bovino	<b>63</b>
<i>Ángel Raúl Cruz Hernández, Rodolfo Lucio Domínguez, José Luis Carlos Bedolla Cedeño</i>	

Producción sustentable de leche bajo un sistema silvopastoril en periodo de sequía **79**

*Alejandro Dutton Puerto, Héctor Magaña Sevilla, Ana Laura Luna Jiménez, Nicolás González Cortés y Román Jiménez Vera*

Propuesta de diseño de un alimentador automatizado para la acuicultura **89**

*Oswaldo Vladimir Rodríguez Leal, Santiago Arceo Díaz, Elena Elsa Bricio Barrios, Jesús Alberto Verduzco Ramírez, Nicandro Farías Mendoza, Briand Alfredo Sánchez Granada*

*Allium sativum* y *Cucurbita maxima* como antiparasitarios gastrointestinales en guajolotes hembras autóctonos **99**

*Aureliano Juárez Caratachea, María Dolores Claudia Guzmán Lara, Carlos Alberto Villalba Sánchez, Ernestina Gutiérrez Vázquez, Ana Celestina Juárez Gutiérrez, Adrián Hernández Sánchez*

### **III. Fitoquímica**

Estudio comparativo de las propiedades fisicoquímicas de la semilla, pulpa y cáscara deshidratada de la papaya (*CARICA PAPAYA*) **110**

*Mireya Ramos Rendón, Rosalynda Sánchez Vázquez, Diana Cecilia Maya Cortés, Rafael Zamora Vega*

Estudio de los componentes del aceite esencial de especies del género *TRIXIS* **116**

*Luis Daniel Herrera Sanabria, Andrea Guadalupe Cárdenas González, Lizbeth Ahtziri Vargas Contreras, Rosa Elva Norma del Río Torres, Mario Armando Gómez Hurtado, Gabriela Rodríguez García*

Determinación de triterpenos en extractos de *SOLANUM SP.* Y asociación de estos con el uso del fruto en medicina tradicional **124**

*Dalia Ibet Díaz Arellano, Eva Esthefany Soto Guzmán, Mario Armando Gómez Hurtado, Gabriela Rodríguez García, Ernesto Ramírez Briones, José C. Ayala Almonte, Yliana López, Rosa Elva Norma del Río Torres*

Historia de los antecedentes fitoquímicos, de los hipoglicemiantes y antihiperglicemiantes modernos. Revisión **138**

*Chantal Charlotte Rosales Ceja, Lucía Matilde Nava Barrios, Cesar Rogelio Solorio Alvarado, Víctor Meza Carmen, Rafael Ortiz Alvarado*

Efecto antioxidante de la *CURCUMA LONGA* **144**

*Elda Araceli García Mayorga, Rosalinda Gutiérrez Hernández,  
Claudia Araceli Reyes Estrada, Blanca Patricia Lazalde Ramos, Maureen Patricia Castro Lugo,  
Lourdes Lizbeth Rocha Aguirre, Nora de la Fuente de la Torre*

#### **IV. Biotecnología**

Bioplástico por biodesarrollo micelial en residuos lignocelulósicos **155**

*Diana Stephanie Ocegueda Vega, Nelly Flores Ramírez,  
Salomón Ramiro Vásquez García, Lada Domratcheva Lvova*

Material compuesto a base de biosílice de cáscara de arroz/colofonia **167**

*Erica Arreola García, Salomón Ramiro Vásquez García, Nelly Flores Ramírez*

Nanopartículas de plata soportadas en una matriz de TiO<sub>2</sub> dopado con cerio, síntesis y aplicación antibacterial **181**

*América Abisay Mondragón Herrera, Roberto Guerra González,  
Martha Angélica Lemus Solorio, Luis Arces Palomino Blas, Ramiro Escudero García*

Reacción de morita-baylis-hillman en sistemas esteroideos  $\alpha$ ,  $\beta$ -insaturados, catalizada por tioureas **189**

*Juan Antonio Rivas Loaiza, Yliana López Castro, Mario Armando Gómez Hurtado,  
Janett Betzabé González Campos, Rocío Huanosto Vázquez, Juan Pablo García Merinos*

Síntesis y caracterización estructural de dos nuevos oxoesteroides de diosgenina **201**

*Cristhian Ovidio Pérez Gómez, Juan Pablo García Merinos, Rosa Elva Norma del Río Torres,  
María Eugenia Ochoa Becerra, Judit Araceli Aviña Verduzco, Rosa Santillán Baca, Yliana López Castro*

Intercalación de moléculas orgánicas en una matriz inorgánica para la inhibición de bacterias **210**

*Roberto Guerra González, Alfonso Lemus Solorio, Martha Angélica Lemus Solorio,  
América Abisay Mondragón Herrera, Roberto Daniel Iñaki Durán Baltazar, Luis Ángel Cuiriz Melchor*

Síntesis de nuevos derivados de etinilestradiol con propiedades luminiscentes **227**

*Vianey Alejandra Mendoza Juárez, Juan Luis Cortes Muñoz, Juan Pablo García Merinos, Gabriela Rodríguez García, Rosa Elva Norma del Río Torres, Rosa Santillán Baca, Yliana López Castro*

## **V. Química**

Preparación de la semicarbazona del acetato de maturina y su reactividad frente a paladio (II) **237**

*Elizabeth Renteria Pineda, Gabriela Rodríguez García, Rosa Elva Norma del Río Torres, Tzarara López Luke, Mario Armando Gómez Hurtado*

Remoción de arsénico en solución acuosa mediante nanopartículas de hierro soportadas sobre nanotubos de carbono **257**

*José Anthony Castro Delgado, Julián López Tinoco, Rafael Huirache Acuña, Javier Lara Romero, Andrés Alejandro Damián Reyna*

Síntesis de bis(indolil)alcanos vía organocatalizadores **262**

*Rocío Huanosto Vázquez, Juan Pablo García Merinos, Rosa Elva Norma del Río Torres, Yliana López Castro, Heraclio López-Ruiz*

## **VI. Ingeniería y desarrollo**

Diseño de un tapial portátil, deslizable y de bajo costo para edificar viviendas en comunidades rurales marginadas **271**

*Dominga Zuleica Chávez Pérez, José Ricardo Moreno Peña, José Fidel Navarro Arellano, Adolfo Robles Rojo*

El papel de la mecánica de rocas en la prevención de accidentes en grandes obras de ingeniería **286**

*Benito Ricardo Martín Herrera, Víctor Manuel Quezada Aguilera, Federico Vogel González*

Posibles usos de los residuos sólidos de la industria minera denominados jales **296**

*Martín Caudillo González, Ma. Mercedes Salazar Hernández, Lucía Guadalupe Alvarado Montalvo, Ricardo Martín Herrera, Víctor Manuel Quezada Aguilera, Nancy Alejandra Frías Velázquez*

Diseño de máquina lateadora portátil de bajo costo **304**

*Josué Solórzano Rodríguez, José Ricardo Moreno Peña, Ramón Aviña Iglesias, Santiago Arceo Díaz*

Efecto de la producción de hidrógeno con la temperatura de la celda electrónica **312**

*Victor Daniel Jiménez Macedo, Tizoc López López*

Evaluación mecánica del polímero pmma a partir del proceso de fabricación para elaborar prótesis dentales **320**

*Alberto Gutiérrez Martínez, Miguel Roque Vásquez Hernández, Tizoc López López, Javier Gutiérrez Martínez, Erasmo Correa Gómez, Manuel Guzmán Tapia, Ramón Hernández Sánchez*

Influencia de los procesos RSW y RSEW en la vida útil de los contenedores de agua empleados en calentadores solares manufacturados con acero inoxidable AISI 304 **332**

*Alejandro López López, Eréndira Rangel García, José Nicolás Ponciano Guzmán, José Jorge Tena Martínez, Leonel Ceja Cárdenas*

## **VII. Biomateriales y construcción**

Aplicaciones del recubrimiento comestible en alimentos y potencial del uso de *OPUNTIA FICUS-INDICA* **343**

*Andrés Alejandro Damián Reyna, Julián López Tinoco*

Diseño y análisis de la resistencia mecánica y capacidad de absorción de agua de un prototipo de mortero-arena con agregados de endocarpio de nuez de macadamia **352**

*Ángel Salvador Pérez Valdovinos, Santiago Arceo Díaz, Ricardo Moreno Peña, Luis Aarón García Solórzano, José Fidel Navarro Arellano, Elena Elsa Bricio Barrios*

Paneles y tableros de bambú con plástico reciclado una solución innovadora para mitigar el cambio climático **364**

*Héctor Miguel Escamilla Anaya, José Ricardo Moreno Peña, Ramón Aviña Iglesias, Santiago Arceo Díaz*

## Presentación

Este libro presenta un fructífero encuentro de ciencias e ingenierías, con trabajos que van desde la ecología y sustentabilidad hasta la química, ingenierías y materiales alternativos para la construcción. Está constituido por siete partes integradas a su vez por contribuciones originales que se ponen a la consideración de los lectores no sólo por el avance científico que de suyo representan, sino también para validar ante la sociedad el valor inmediato y futuro de estos avances que podrían repercutir directamente en el bienestar social. Nos interesa cumplir así con uno de los compromisos que las universidades tienen con la sociedad: contribuir a la atención de sus necesidades, promoviendo la divulgación científica y la apropiación social del conocimiento.

Entre las investigaciones más urgentes hoy en día se encuentran las ambientales, aquellas relacionadas con el agua, salud y aprovechamiento de animales de consumo; para promover el manejo ambiental adecuado y determinar las repercusiones que tiene en la salud ambiental, ecosistémica y humana. El agua es un tema que requiere de nuestra atención en aspectos de calidad, sistemas de saneamiento y conservación y manejo. En este sentido se presentan los trabajos de monitoreo por once años de un sistema lagunar costero (García *et al.*) y el papel de los humedales en el manejo de la descarga residual de comunidades de la ribera de los lagos de Pátzcuaro y Cuitzeo, Michoacán (Martínez y Camacho); adicionalmente, en la sección de Biotecnología se presenta el dopado y síntesis de nanopartículas de plata (Mondragón *et al.*) para inhibir la carga bacteriana (*Staphylococcus*, *Escherichia* y *Salmonella*) en aguas residuales y síntesis de nanopartículas de hierro para remover el arsénico en agua superficial y subterránea para mejorar la calidad del agua potable (Castro *et al.*).

La crianza de los animales se ve directamente afectada por factores ambientales, como períodos de lluvia-sequía. La sequía afecta a las vacas lecheras, se propone que el sistema silvopastoril de crianza es más adecuado que el tradicional (Dutton *et al.*); adicionalmente, en sistemas de crianza tradicionales en La Presa, Michoacán, se registran bacterias en la leche haciéndola no apta para consumo humano sin influencia evidente de factores ambientales (Cruz *et al.*). La alimentación de los animales que consumimos es un área de investigación en constante desarrollo, donde se exploran alternativas para reducir los parásitos intestinales en guajolotes de traspatio con ajo y semillas de calabaza (Juárez *et al.*) o se optimiza la alimentación de peces con automatización, reduciendo así la cantidad de desperdicios, mejorando también la oxigenación del agua (Rodríguez *et al.*).

México es el quinto país más diverso en plantas del mundo, dándonos alimento, medicamentos, refugio e infinidad de productos, con constante aprovechamiento humano desde la época precolombina; sabemos que falta mucho de la biodiversidad por catalogar y se mantienen los esfuerzos por aprender y mejorar el uso de plantas ya conocidas, sea por su valor nutricional, comercial, ecológico o por extractos del metabolismo secundario de las plantas. En ese sentido, se presenta un trabajo de sistemática para una sección con dos especies de *Salvia* (Andrés *et al.*) y trabajos de obtención de productos como el jarabe de caña de azúcar, tan dulce como la miel de abeja o el jarabe de maíz, haciéndola una alternativa altamente competitiva en Tabasco (Jiménez *et al.*); se cuantifica el contenido proteico y mineral de semillas, pulpa y cáscara deshidratada de la papaya (Ramos *et al.*), así como el uso en medicina tradicional de plantas de *Solanum* por sus triterpenos (Díaz *et al.*) y aceites esenciales tipo terpenoides (Herrera *et al.*) de *Trixis* (árnica falsa); también se

evalúa la actividad antioxidativa de la cúrcuma (García Mayorga *et al.*), y se presenta una revisión de moléculas hipoglicemiantes y antihiperlipemiantes (Rosales *et al.*) para la diabetes.

De las plantas también se obtienen materiales que históricamente se han usado para construcción, aunque eso ha resultado en casos tristes de deforestación de bosques. Hoy en día, en el campo de los biomateriales, se buscan alternativas que empleen desperdicios de otras actividades, como mezclar desechos de cáscaras de nuez de macadamia con mortero y arena para hacer mezclas cementantes (Pérez Valdovinos *et al.*) y el uso del bambú como alternativa a la madera para fabricar paneles y tableros (Escamilla *et al.*). También se explora el uso de plantas para crear materiales alternativos al plástico, por ejemplo, para empacar alimentos con la incorporación de compuestos bioactivos, en este caso del mucílago del nopal que además sería comestible (Damián y López); se crean bioplásticos a partir de hongos desarrollados en sustratos renovables, como astillas y aserrín de encinos y olotes de maíz (Ocegueda *et al.*) y desarrollo de un compuesto a base de colofonia (resina) y biosílice de la cáscara del arroz para sustituir los polímeros de origen fósil (Arreola *et al.*). Los compuestos naturales se usan también en combinación con compuestos inorgánicos para preparar materiales híbridos orgánico/inorgánico y evaluar su acción como bactericidas de *Escherichia coli* y *Salmonella typhi*. (Guerra *et al.*)

El apartado de biotecnología incluye también trabajos de síntesis de moléculas con potencial para la salud, tal es el caso de derivados esteroidales, compuestos policíclicos de uso farmacológico; se genera un nuevo derivado esteroideal con tioureas como catalizadores para la reacción Morita-Baylis-Hillman (Rivas *et al.*), síntesis y caracterización estructural de dos nuevos oxoesteroides (Pérez Castro *et al.*) y síntesis de derivados de etinilestradiol que mejorarían la afinidad a receptores esterogénicos con propiedades luminiscentes, teniendo utilidad en diagnóstico médico por imagenología y terapia médica (Mendoza *et al.*).

Un área muy desarrollada en nuestra universidad es la química, en procesos de reactividad, síntesis y aislamiento; como la reactividad al paladio de semicarbazona del acetato de maturina con propiedades biológicas, catalíticas y luminiscentes (Rentería *et al.*) y se aíslan y sintetizan de bis(indolil) alcanos utilizando tioureas como organocatalizadores, una metodología en condiciones suaves de reacción y sin metales (Huanosto *et al.*).

Un interés de las universidades es la innovación tecnológica, como los estudios ya presentados y las obras de ingeniería y desarrollo de uso en comunidades marginadas, por su bajo costo y no requerir de mano de obra especializada. Aquí se presentan el diseño de un tapial (Chávez *et al.*) y de una máquina lateadora para construcción rural con bambú (Solórzano *et al.*). En ingeniería de la construcción se presentan estudios de relevancia en proyectos grandes de construcción, a través de una metodología para estudiar la mecánica de rocas (Marín *et al.*), muy relevante en obras grandes, como túneles o puentes; o el estudio para manejo de jales, es decir los residuos sólidos resultantes de la actividad minera, explorando los posibles usos secundarios como materia prima para la construcción por tener características químicas y mineralógicas similares a ladrillos (Caudillo *et al.*), así como la instalación y caracterización experimental de una celda de hidrógeno comercial y generación de mapas de temperatura relacionados al consumo de corriente eléctrica y subsecuente generación de hidrógeno (Jiménez y López). Los diseños e innovaciones también se encaminan a actividades empresariales para mejorar procesos desde odontológicos para la fabricación de un polímero metil-metacrilato de fácil acceso y bajo costo, para elaborar prótesis dentales duraderas y eficientes (Gutierrez *et al.*), hasta evaluar proceso de soldadura por resistencia RSW y RSEW utilizados en la fabricación de tanques de agua de los calentadores solares, extendiendo así su vida útil (López *et al.*).

Finalmente, se presenta una revisión bibliográfica del impacto de la pandemia de SARS-CoV2 COVID-19, en particular las acciones de aislamiento para reducir la transmisibilidad del covid-19 y su efecto directo en la disminución de emisiones  $\text{NO}_2$  y  $\text{CO}_2$  al reducirse la movilidad vehicular (Arias *et al.*), en una muestra del compromiso de la universidad con los problemas acuciantes, sobre todo durante el último año y medio.

Algunos de los textos que dan forma a este libro, en una primera versión, fueron presentados en el XV Coloquio Internacional Multidisciplinario celebrado en la Unidad Profesional del Balsas, en la ciudad de Huetamo, Michoacán, en noviembre de 2020. Sus autores, así como las editoras de este volumen, estamos seguros que serán de su interés, y nos comprometemos a continuar con la loable labor de difundir el quehacer universitario en beneficio de la sociedad.

Sabina I. Lara Cabrera  
Patricia Abraham Peñaloza

# **I. Ecología y sustentabilidad**

# **Relevancia trófica del sistema lagunar costero de Mandinga a partir de 11 años de datos ambientales (otoño e invierno)**

Elizabeth García Baeza  
Javier Aldeco Ramírez  
Laura Lisbeth Buendía Buendía

## **Introducción**

Las lagunas costeras son cuerpos de agua cuya principal característica es la abundancia de nutrientes y materia particulada, en comparación con las aguas litorales y oceánicas; se encuentran separadas del mar por barreras físicas, comúnmente de arena, o barreras de tipo hidrodinámico con una o más entradas restringidas que permanecen abiertas de manera permanente o efímera y, debido a la marea o las lluvias, se catalogan como sistemas exportadores de nutrientes (Kjerfve, 1994; Herrera Silveira, 2006; De la Lanza y Cáceres, 1994). Además, estos ecosistemas están en continuo cambio por el efecto hidrológico del encuentro de dos masas de agua de diferente origen y propiedades fisicoquímicas, como las descargas de agua continental provenientes de los ríos y las intrusiones marinas por la marea (Kjerfve, 1994).

La ecología trófica es una disciplina científica que investiga la estructura de las relaciones de alimentación (tróficas) entre organismos en un ecosistema, relaciones que se representan como una red alimentaria o como una cadena alimentaria (Sabo y Gerber, 2020). La productividad de los sistemas acuáticos se encuentra regulada por el flujo energético (energía radiante y química) y por la cantidad y concentración de los nutrientes inorgánicos responsables en primera instancia de la producción primaria acuática, ya sea en la columna de agua por medio de fitoplancton, en el sustrato mediante el fitobentos o en las áreas de vegetación sumergida (Contreras Espinoza, 1994).

En la masa de agua de un sistema lagunar se puede observar material suspendido que es la esencia de la red alimentaria. De la materia particulada suspendida en un humedal de marea de Chile, Navarro y colaboradores (1993) señalaron la composición bioquímica (carbohidratos, lípidos, proteínas, clorofila y carbón orgánico particulado), el valor nutritivo y su posible influencia en organismos filtradores. La calidad (composición) del material particulado en un sistema lagunar costero dominado por la marea es altamente dependiente de la densidad de fitoplancton; cuando la corriente de marea es de poca importancia (micro mareal) la carga de sedimento inorgánico es menor en el material suspendido (Navarro *et al.*, 1993).

Análisis sugieren una consistencia notable en la respuesta de la biomasa de fitoplancton al enriquecimiento de nutrientes inorgánicos en los ecosistemas marinos (Smith, 2006). Las algas fitoplanctónicas tienen una respuesta a la relación N:P (nitrógeno:fósforo), conocido como cociente de Redfield (Smith, 2006).

Las variables ambientales en una laguna costera permiten discernir y conocer el estado de salud; estas son bióticas y abióticas, y los organismos que habitan bajo estas condiciones tienen ca-

pacidades fisiológicas para alimentarse, crecer y reproducirse (Parsons *et al.*, 1984). Si se modifican las variables ambientales los organismos entran en estrés y su viabilidad biológica puede verse comprometida. Las variables ambientales que se utilizan en este trabajo son: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, concentración de nitritos, nitratos, fósforo, clorofila *a* y carbono orgánico particulado. Otras variables que también son importantes, pero que no se utilizan en este estudio son el pH, la densidad del agua, la hidrodinámica del sistema, la penetración de la luz, entre otras. Todas estas variables forman parte del entorno ambiental y regulan lo que se conoce como la salud del sistema.

En este trabajo, con el fin de investigar el estado del Sistema Lagunar Costero de Mandinga (SLCM), se optó por la información obtenida en varios años, lo que permite ver la variabilidad estacional y anual. Los sistemas naturales, en este caso una laguna costera tropical, están sujetos a la influencia que ejercen las lluvias y la insolación en la región, además de influencias como la Oscilación del Atlántico Norte (OAN), El Niño y La Niña (ENSO), que finalmente modifican los patrones atmosféricos (Sánchez Santillán *et al.*, 2012). Los estudios multianuales permiten entender algunos de los rangos de variación de algunas de las variables ambientales (temperatura del agua, p. ej.), mientras que otros rangos se manifiestan por la conjunción de factores distantes (El Niño, p. ej.) y estacionales o locales (como el exceso de materia orgánica en el sistema en estudio). Muchas veces las manifestaciones ambientales no tienen causa directa con el Cambio Climático Global, sino que son respuestas a factores locales (tala de mangle, desecho de aguas negras, etc.).

La tala de mangle es un problema que aqueja a muchas lagunas costeras, de México y del mundo, y no es una actividad que se de en periodos cortos de tiempo. La importancia del bosque de mangle en la riqueza y bienestar del sector pesquero y de los lugareños se manifiesta a través de servicios ambientales, que son productos del bosque que los humanos hacemos usufructo y lo catalogamos como gratis. Los manglares brindan una gran variedad de servicios ambientales, a saber: son zonas de alimentación, refugio y crecimiento de juveniles de crustáceos y alevines, por lo que sostienen gran parte de la producción pesquera, son utilizados como combustible (leña), poseen un alto valor estético y recreativo, actúan como sistemas naturales de control de inundaciones y como barreras contra huracanes e intrusión salina, controlan la erosión y protegen las costas, mejoran la calidad del agua al funcionar como filtro biológico, contribuyen en el mantenimiento de procesos naturales tales como respuestas a cambios en el nivel del mar, mantienen procesos de sedimentación y sirven de refugio para la flora y fauna silvestre, entre otros (CONABIO, 2021). El costo económico del bosque de mangle mediante la valoración de los servicios ambientales, sin contar los servicios culturales, espirituales y estéticos (Himes Cornell *et al.*, 2018) es de \$ 58,862 USD/ha/año, beneficio que se deja de percibir por cada hectárea que se tala y que también tiene repercusiones sociales y culturales (Aldeco *et al.*, 2015).

Una gran virtud de las prácticas de campo que realizan los estudiantes de las carreras de biología es la adquisición de datos de campo, por lo cual se requiere que se familiaricen con los diferentes ambientes naturales y comprendan el funcionamiento de los sistemas, en este caso una laguna costera. Esta situación permitió recabar información de 11 años (2008-2018) en viajes de prácticas en otoño e invierno, normalmente octubre y febrero.

## **Planteamiento del problema**

En los últimos años una gran variedad de estudios ha demostrado que en las zonas costeras del país existen problemas de contaminación debido a las actividades antropogénicas que se realizan tanto dentro como alrededor del sistema (pesca, turismo, actividades acuáticas, acuicultura, dragado de arena, por mencionar algunas), lo que ha convertido a las lagunas costeras en sistemas vulnerables propensos a un cambio en el estado trófico y flujo de nutrientes (Gómez Ortega, 2017). Se han realizado diversos trabajos y estudios sobre el Sistema Lagunar Costero de Mandinga (SLCM), Veracruz (Figura 1), y en estas investigaciones se han descrito variables físicas e hidrodinámicas acerca del diagnóstico del sistema (p. ej. Salas Monreal *et al.*, 2020). Sin embargo, no hay datos que aporten información de la variabilidad del sistema a través del tiempo en una escala multianual, ni de la importancia del material suspendido que por efecto de la marea se intercambia con el mar costero adyacente.

## **Objetivo**

Mostrar promedios de datos ambientales (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nitritos+nitratos, fosfato, clorofila *a* y carbón orgánico particulado), de otoño e invierno, obtenidos en 11 años (2008-2018) en el Sistema Lagunar Costero de Mandinga (SLCM).

## **Metodología**

El Sistema Lagunar Costero de Mandinga (SLCM) se localiza al norte del municipio de Alvarado, en el estado de Veracruz, cuenta con una extensión total de 3,250 ha y está integrado por tres lagunas: Laguna Larga, Laguna Redonda (o de Mandinga) y Laguna Grande. Se encuentra en las coordenadas geográficas 19°03'N y 96°04'W (Figura 1). Hacia el norte del sistema lagunar se encuentra la desembocadura del Río Jamapa (principal flujo de agua dulce), que se comunica con la Laguna Larga por medio del estero del Conchal.

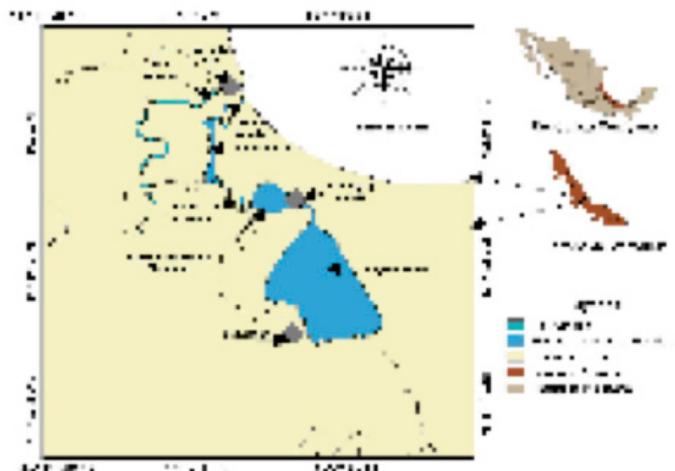


Figura 1. Ubicación del Sistema Lagunar Costero de Mandinga (SLCM), Veracruz. Profundidad promedio de -1 m, pero con canales de hasta 3 m.

Según la clasificación climática de Köppen, modificada por García (2004), el clima del SLM se caracteriza por ser cálido sub-húmedo de tipo Aw2. Se ubica en la zona térmica cálida (isoterma entre 24 y 26 °C) y presenta poca oscilación anual de temperatura, ya que en los meses con mayor temperatura (mayo y abril) las máximas oscilan entre 33 y 35 °C, mientras que las temperaturas más bajas que se presentan en invierno no son menores a los 18 °C. La precipitación anual oscila entre 1,500 a 2,000 mm (promedio de 1,694 mm) y se concentra en los meses de verano. En la época cálida son frecuentes las perturbaciones atmosféricas denominadas «ciclones tropicales» y en el invierno los conocidos «nortes», y ambas influyen tanto en la dirección del viento como en el aumento de la cantidad de lluvia de septiembre o invierno, según el caso.

### Obtención de datos

Desde 2008 y hasta 2018 (11 años) durante cinco días en otoño y cinco en invierno, se obtuvieron series de tiempo de datos ambientales en el Sistema Lagunar Costero de Mandinga, realizados por lo general durante los meses de octubre y febrero. En cada muestreo, realizado en la estación fija ubicada en la Laguna Redonda, se recabó información cada hora durante los cinco días y noches, con el objetivo de generar una serie de tiempo. En total, fueron 96 horas (muestras) de cada muestreo estacional.

La temperatura del agua y la salinidad se determinaron con un multiparamétrico YSI-30, y cada hora se recolectaron las muestras de agua en la estación para determinar los parámetros químicos: oxígeno disuelto (mg/L), nitritos y nitratos ( $\text{NO}_2$  y  $\text{NO}_3$ ,  $\mu\text{M}$ , micro molar), carbono

orgánico particulado (COP en  $\text{mg C/m}^3$ ) y clorofila *a* (Chl-*a* en  $\text{mg/m}^3$ ). Los análisis se realizaron de acuerdo con la técnica de Strickland y Parsons (1972). Con ayuda del software Gnumeric ver. 1.12.9-1 se elaboró una base de datos y graficado de los promedios de cada serie de tiempo.

## Resultados

Según la amplitud y la fase de la marea los valores de las variables medidas (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, clorofila-*a*, nutrientes y COP) variarán dentro del sistema lagunar, pero también los valores variarán de acuerdo con la estación del año (con lluvias o sin ellas) (Rahaman *et al.*, 2013). Entonces los resultados que aquí se presentan son un promedio de cinco días de muestreos cada hora, en cada fecha de muestreo.

La Figura 2 muestra los promedios de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) en cada una de las fechas de muestreo. Es de notar la mayor temperatura en verano y la menor en invierno, y algo de variabilidad interanual. La Figura 3 muestra la salinidad en ups (unidades prácticas de salinidad) en las distintas fechas de muestreo. Es de notar que las salinidades de invierno mostraron menor variabilidad interanual, solo en Inv/2012 se observa un valor menor debido, probablemente, a lluvias invernales. La salinidad durante los otoños fue menor y también se observa variabilidad interanual. La salinidad es más baja en Oto/2013 probablemente con lluvias tardías. En Oto/2015 al parecer las lluvias fueron escasas.

La Figura 4 muestra el promedio de la concentración de oxígeno disuelto ( $\text{mg/L}$ ). La variabilidad interanual es evidente. No hay un patrón obvio; sin embargo, son notorios el Inv/2016 e Inv/2017 por estar cerca del valor de  $2 \text{ mg/L}$ , valor que marca la literatura como hipoxia. La Figura 5 muestra los valores de la suma de los nitritos y nitratos (ambos en  $\mu\text{M}$ ) donde se observan valores extremos, unos cercanos al límite de detección, y otros por arriba de  $5 \mu\text{M}$ , valores altos si se considera que las aguas costeras andan alrededor  $1\text{-}2 \mu\text{M}$ . El primer pico es en otoño (Oto/2009) y los siguientes en invierno (Inv/2013 e Inv/2016). La Figura 6 muestra los promedios del fosfato ( $\text{PO}_4$ , fósforo reactivo soluble, SRP, en  $\mu\text{M}$ ) de las fechas de muestreo. Los valores en general son altos, salvo en tres fechas: Inv/2010, Inv/2012 e Inv/2016.

La Figura 7 muestra los promedios de concentración de clorofila *a*. Hay variabilidad interanual y los valores nos son tan altos para una laguna costera, pareciera que los picos van más allá de las estaciones del año, por ejemplo, Oto/2008-Oto/2010, Inv-Oto/2012, Oto/2013-Inv/2014, Oto/2016-Inv/2017. No hay un patrón interanual. La Figura 8 muestra los promedios de COP (Carbón Orgánico Particulado en  $\text{mg C/m}^3$ ). No hay un patrón para otoño o invierno y hay variación interanual. La Figura 9 muestra los promedios del cociente de Redfield. Solo en Inv/2010 e Inv/2016 se observa por arriba de 15. La Figura 10 muestra una gráfica de los promedios de Oxígeno disuelto *versus* el carbón orgánico particulado; la correlación fue nula.

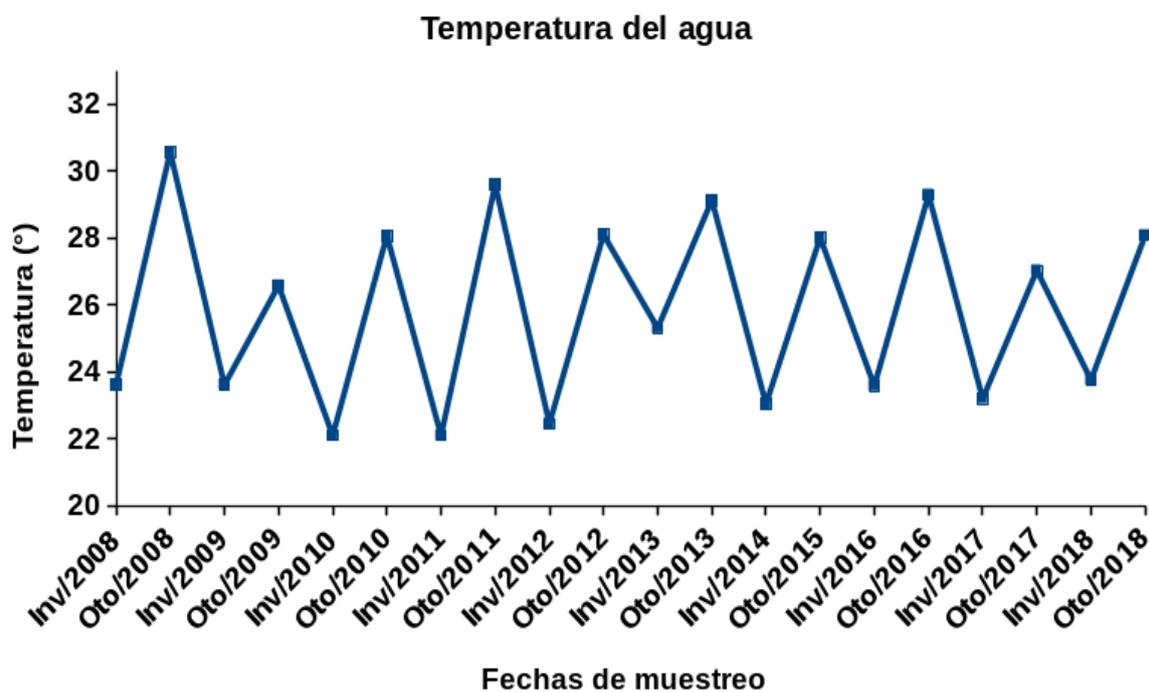


Figura 2. Promedios de Temperatura del agua ( $T$ , °C) durante las fechas de muestreo en el SLCM.

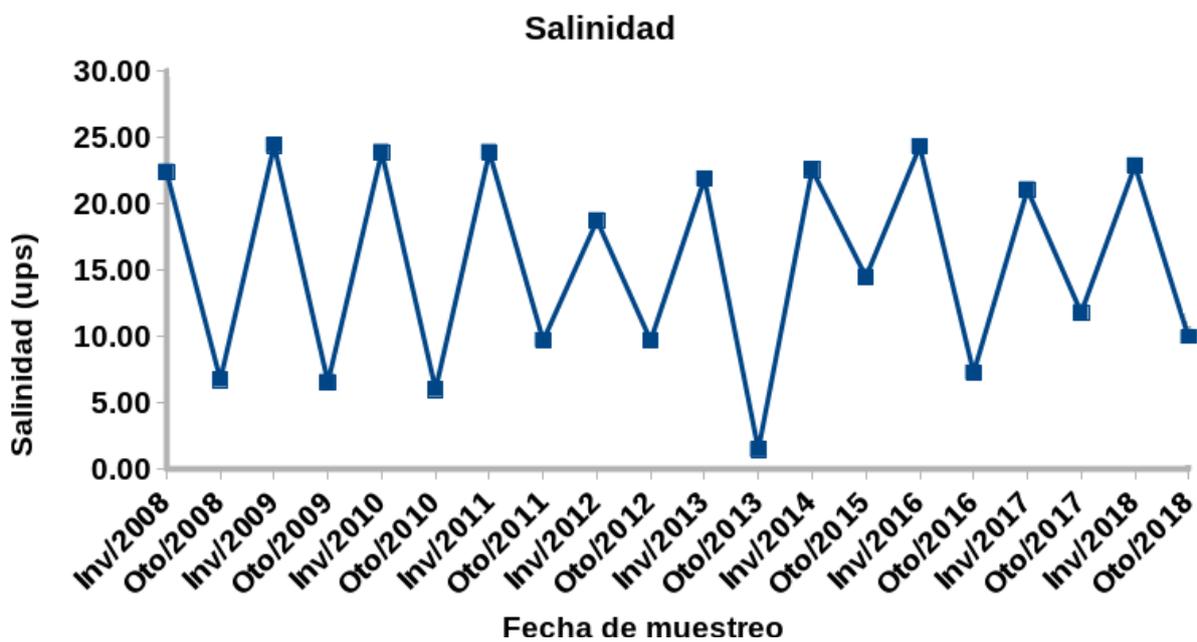


Figura 3. Promedios de Salinidad superficial ( $S$ , ups) en el SLCM durante las fechas de muestreo.

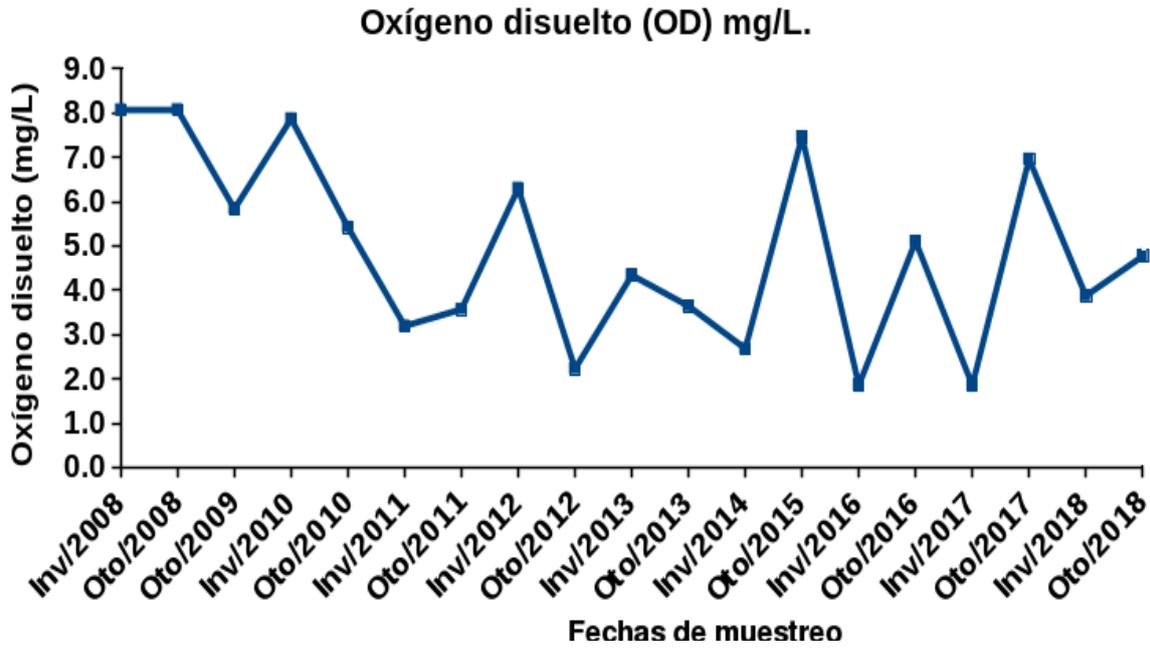


Figura 4. Promedios de concentración de Oxígeno disuelto ( $O_2$ , mg/L) durante las fechas de muestreo en el SLCM.

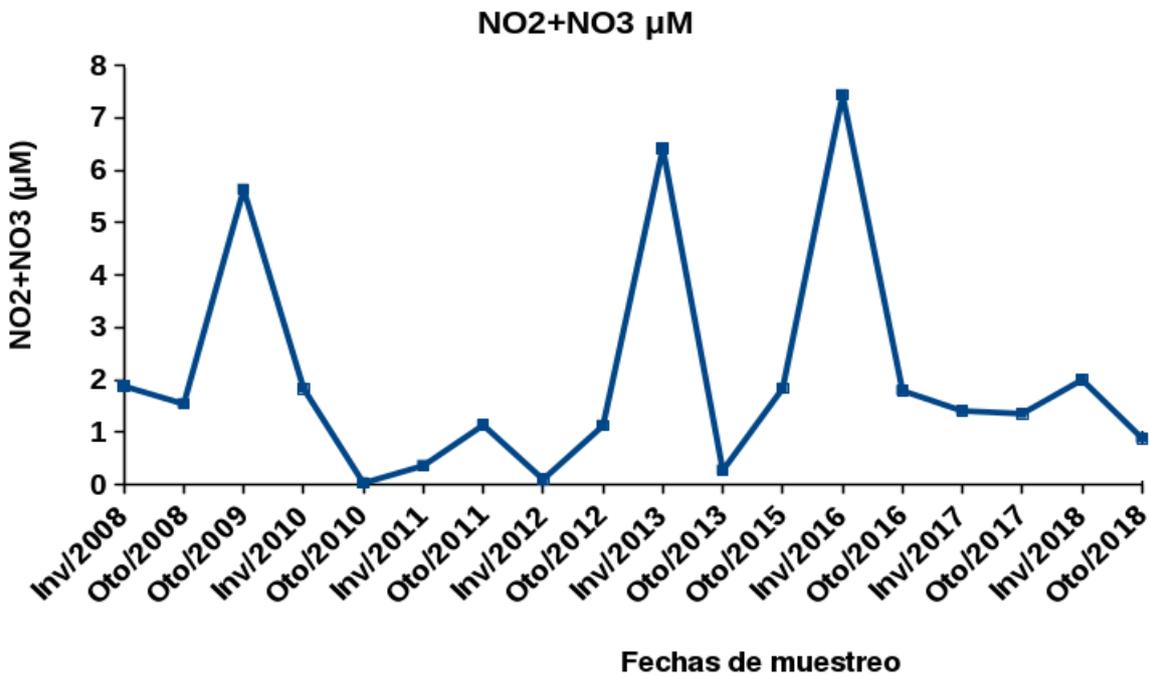


Figura 5. Promedios de concentración de Nitrito + Nitrato ( $\mu M$ ) durante las fechas de muestreo en el SLCM.

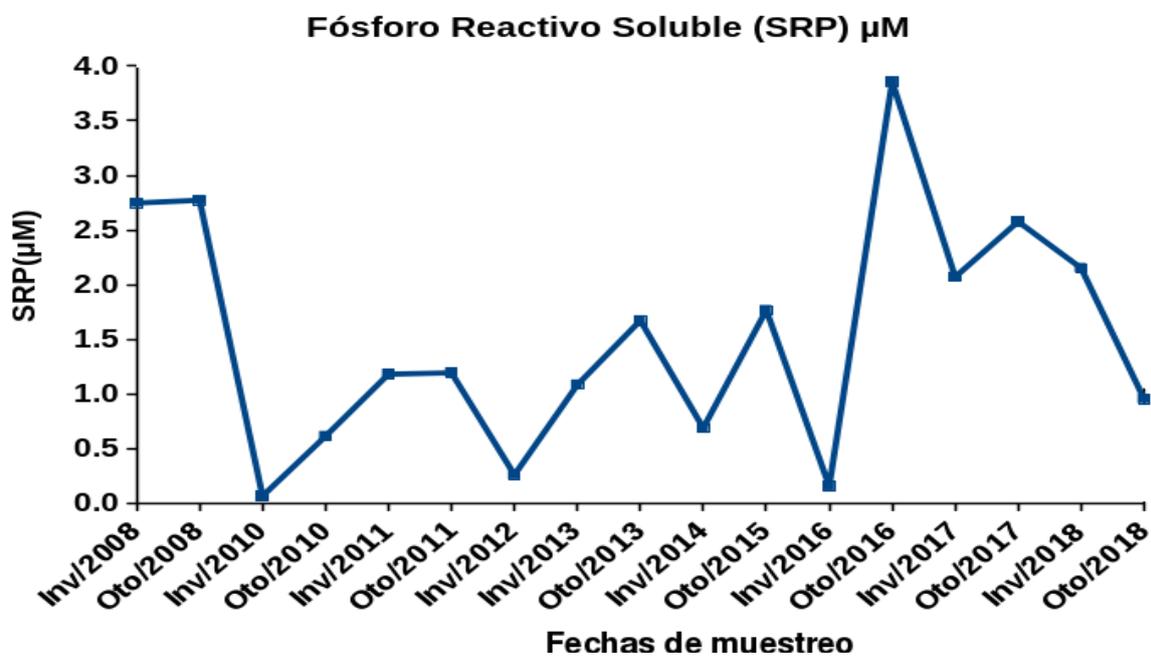


Figura 6. Promedio de Fósforo Reactivo Soluble (SRP,  $\mu\text{M}$ ) durante las fechas de muestreo en el SLCM.

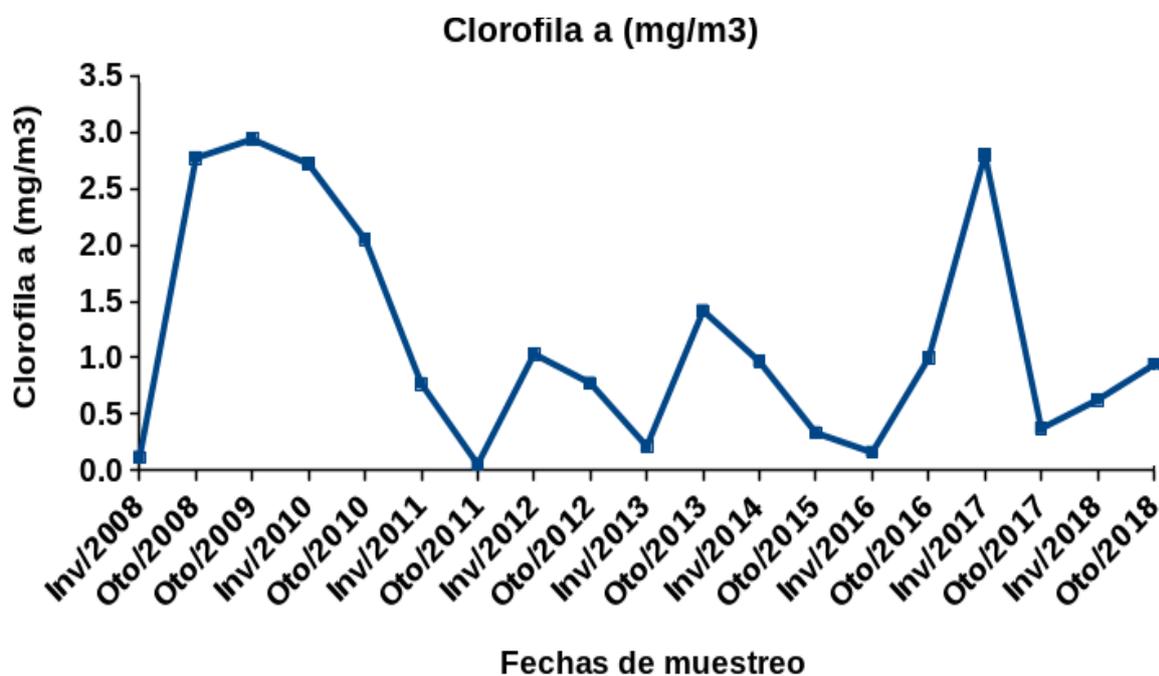


Figura 7. Promedios de Clorofila a (Chl<sub>a</sub>, mg/m<sup>3</sup>) durante las fechas de muestreo en el SLCM.

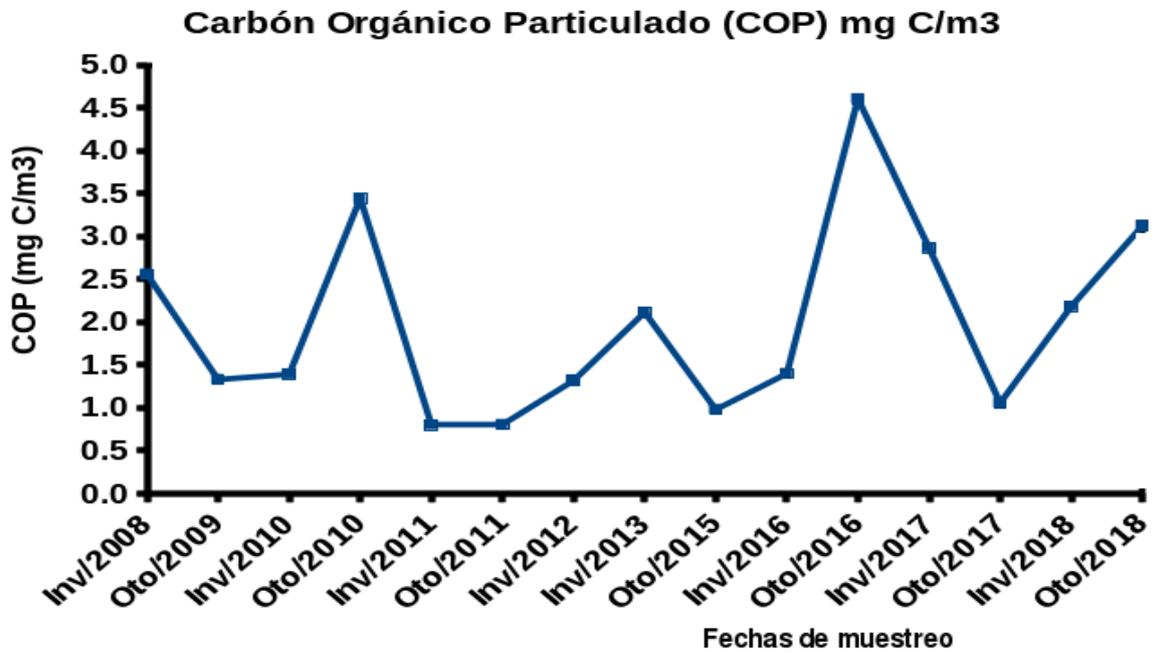


Figura 8. Promedios de COP (Carbono Orgánico Particulado, mg C/m<sup>3</sup>) durante las fechas de muestreo en el SLCM.

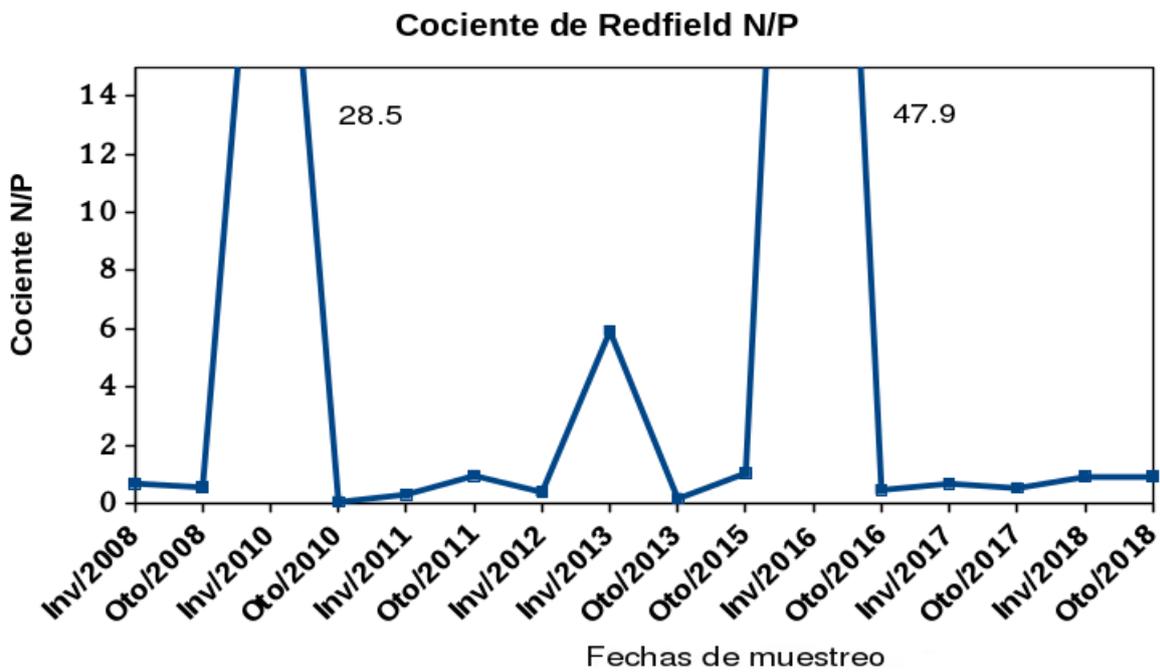


Figura 9. Cociente de Redfield (N/P; 15/1) durante las fechas de muestreo en el SLCM. En general, la laguna es deficiente de nitrógeno.

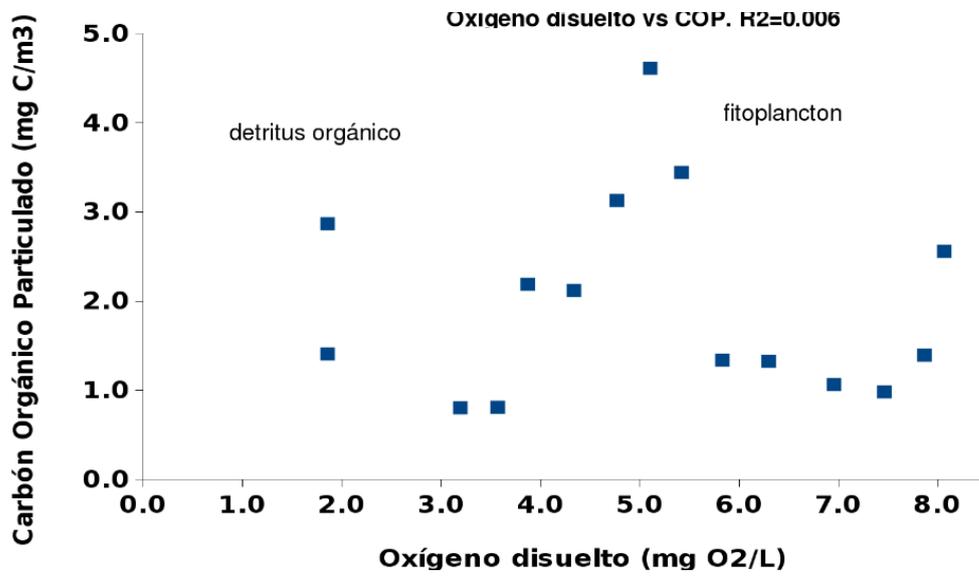


Figura 10. Oxígeno disuelto (mg/L) versus Carbono Orgánico Particulado (mg C/m<sup>3</sup>). Es probable que valores altos de COP con O<sub>2</sub> alto estén relacionados a fitoplancton y no a detritus orgánico (ver texto).

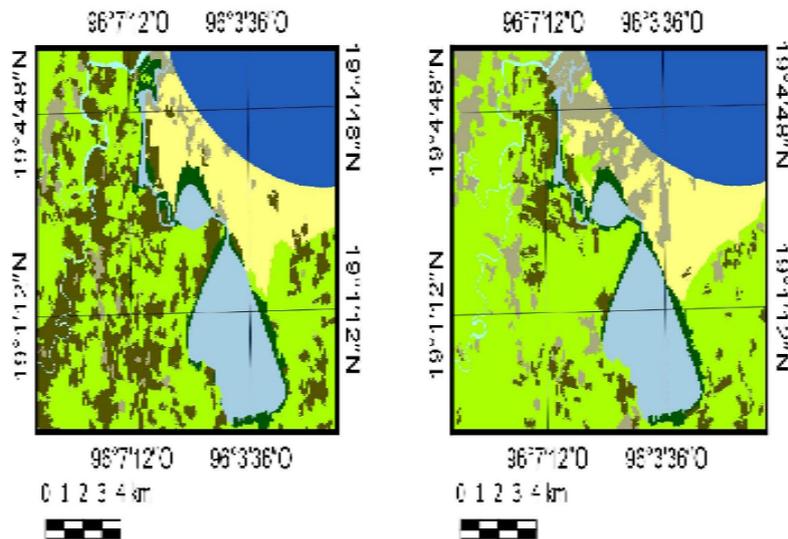


Figura 11. Mapas de los usos de suelo y vegetación del SLCM correspondientes a los años 2000 (izquierda), 2017 (derecha). Elaborado a partir de imágenes del satélite Landsat 7 TM+ y 8 OLI/TIRS.

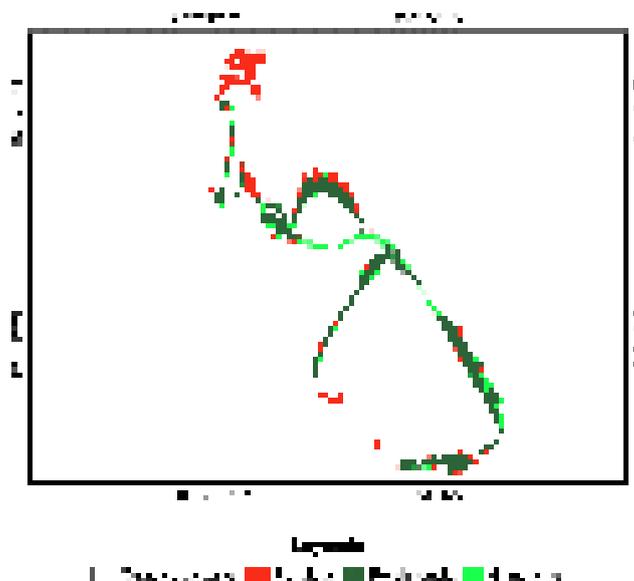


Figura 12. Mapa de pérdidas, ganancias y persistencias del bosque de mangle en el SLCM. En un periodo de 17 años se perdieron -107.08 ha (en color rojo). Tasa de deforestación anual de -1.02 %. Elaborado a partir de imágenes del satélite Landsat 7 TM+ y 8 OLI/TIRS.

## Discusión

Los rangos observados de los promedios de T, S y O<sub>2</sub> fueron de 22.0 a 30.8 °C, de 1.8 a 30.78 ups y 2.0 a 8.06 mg O<sub>2</sub>/L (Figuras 2, 3 y 4). La temperatura y salinidad siguen una estacionalidad anual, mientras que el oxígeno disuelto está controlado por procesos locales y distantes.

En nuestro estudio no se observó ningún enriquecimiento de nitrógeno o fósforo en el SLCM (Figuras 5 y 6), lo que indica que no está sujeto a un proceso de eutrofización, posiblemente la absorción de nutrientes por el fitoplancton puede actuar como un mecanismo de filtro biológico (Abreu *et al.*, 2010), y la exportación de COP al mar costero adyacente (por efecto de la marea) mantiene niveles razonables de nutrientes. Este conocimiento de los procesos a través del tiempo son elementos para futuros estudios de la resiliencia.

La clorofila *a* en general fue baja en todos los años (Figura 7), aunque al principio (Oto/2008 a Oto/2010 e Inv/2017) los valores fueron relativamente altos, no pasaron los 3 mg/m<sup>3</sup>. Estos valores son muy bajos comparados con los encontrados por Salcedo-Garduño (2019) cercanos a 10 mg/m<sup>3</sup> (muestreos de día en el SLCM). Nuestros resultados se parecen más a los encontrados por Lara Lara (1978) en una serie de tiempo en una laguna costera de Baja California en invierno (concentración promedio de clorofila *a* de 1.5 mg m<sup>-3</sup>).

La variación de la biomasa del fitoplancton parece estar más influenciada por la hidrología que está impulsada principalmente por factores meteorológicos como el viento, la lluvia y la evaporación. Sin embargo, Abreu y colaboradores (2010) observaron que las fuerzas impulsoras hidrológicas juegan diversos roles en diferentes escalas de tiempo, por ejemplo, la variabilidad de Chl *a* a corto plazo está controlada principalmente por los vientos, mientras que los cambios a largo plazo están

relacionados con la entrada de agua dulce por las lluvias. También encontraron una correlación significativa entre la cantidad total de lluvia en el año y el valor medio anual de Chl *a*, y pueden ocurrir en una estación del año valores bajos de Chl *a*, probablemente debido al lavado de la biomasa producida en la laguna costera y, del mismo modo, los niveles bajos de lluvia conducen a una pequeña biomasa de fitoplancton debido a la escasez de nutrientes. En este sentido, la variabilidad de Chl *a* a gran escala estaría relacionada con la anomalía climática (El Niño, p. ej.), que influye en los niveles de precipitación en el estado de Veracruz. La concentración de clorofila *a* en general fue baja y no sabemos qué porcentaje está en el COP, pero como sugiere Navarro y sus colegas (1993), el consumo por los filtradores (bentos) y por el zooplancton (pélago) puede ser intenso.

El COP (Figura 8) está en términos de carbono de glucosa. El contenido real de carbono del material orgánico particulado ocurre si todo el carbono estuviera presente como carbohidratos. Normalmente, según la naturaleza del material orgánico, la composición promedio del fitoplancton y los detritos es tal que el contenido real de carbono está dentro del +/- 10-20 % del valor obtenido del análisis químico; el carbono oxidable es una medida real de la energía almacenada en la materia orgánica (Strickland y Parsons, 1972). Los contenidos de carbono y nitrógeno de la fracción orgánica del seston (POC y PON, respectivamente) pueden no estar relacionados entre sí; esto indica que la fracción orgánica del seston es una mezcla heterogénea en el espacio y el tiempo de material mayoritariamente detrítico (Odum y De la Cruz, 1967).

Los nutrientes generalmente manifiestan un comportamiento hidrológico estacional debido a su dependencia con los aportes de agua dulce y sus efectos por las estaciones climáticas (lluvia y estiaje) (Gutiérrez Vivanco, 2010). Análisis sugieren una consistencia notable en la respuesta de la biomasa de fitoplancton al enriquecimiento de nutrientes en los ecosistemas marinos (Parsons *et al.*, 1984). Las algas fitoplanctónicas tienen una respuesta a la relación N:P, conocida esta última como cociente de Redfiel, y el valor de N:P en la que se produce una fuerte limitación de N en el crecimiento de algas es 20:1 (N:P) (Smith, 2006). El cociente N:P es una relación empírica que exhibe una gran dispersión a cualquier concentración de nutrientes dada, refleja la influencia de factores físicos y bióticos adicionales que pueden estar actuando para mejorar o reducir la biomasa de algas, y el uso de este cociente se ha aplicado para distinguir la limitación de N y de P en los sistemas marinos (Smith, 2006).

La Figura 9 de este estudio muestra que de los 16 datos de promedios de N y P, de once años de estudio, solo en dos ocasiones, Inv/2010 e Inv/2016, se rebasó el valor N:P de 20, por lo que suponemos que el SLCM continuamente está limitado de nitrógeno. Un análisis posterior nos podría indicar si el sistema depende del detritus orgánico del mangle para su subsistencia (y no del fitoplancton).

En la Figura 10, Oxígeno disuelto (mg/L) *versus* Carbono orgánico particulado (mg C/m<sup>3</sup>), se buscó saber si los valores bajos de oxígeno disuelto estaban relacionados con una demanda química de oxígeno para la oxidación de la materia orgánica, lo cual hubiera sido el caso si en esta figura el COP hubiera salido alto con baja concentración de oxígeno disuelto. Es probable que valores altos de COP con concentración de O<sub>2</sub> media estén relacionados a fitoplancton como señala Navarro y colaboradores (1993), y contrario a Odum y De la Cruz (1967), quienes señalan que el COP contiene un mínimo porcentaje de fitoplancton. Es de notar que el incremento de COP no mostró correspondencia con la clorofila *a* ni con la concentración de oxígeno disuelto, proceso observado en el sistema estuarino Chantuto-Panzacolalo (Chiapas) y que sugiere que la eutrofización fue básicamente por remineralización de detritus orgánico (Gómez Ortega *et al.*, 2017).

Los manglares se encuentran entre los ecosistemas más productivos de la tierra, con una productividad promedio de 2,500 mg Cm<sup>-2</sup> por día (Jennerjahn e Ittekkot, 2002). Generalmente la

alta demanda de nutrientes para mantener esta productividad se satisface con el suministro externo de escorrentías, ríos y mares, y con un reciclaje interno intensivo a través de la actividad microbiana en la columna de agua y bentónica. El bosque de mangle del SLCM que tiene influencia de río y marea, es importante para la producción y sedimentación de materia orgánica en la zona costera; recibe elevados aportes de materiales biogénicos y abiogénicos de la tierra y del mar, y debido a la marea, están en permanente intercambio con las aguas costeras.

Aunque las tasas de caída e intercambio de hojarasca con el océano costero pueden variar regionalmente, se estima que el 50 % se exporta a la zona costera, el 25 % se recicla dentro de los manglares y el 25 % restante se acumula en sedimentos de manglares (Jennerjahn e Ittekkot, 2002). Estos números indican su relevancia para el reciclaje de carbono en la frontera tierra-océano. Las altas tasas de producción, acumulación y exportación de carbono en los manglares, así como la mayor fertilidad de las aguas costeras adyacentes, se logran principalmente mediante la alta actividad biológica dentro de los manglares y el reciclaje e intercambio permanente de nutrientes entre estos y las aguas costeras. Esta dinámica de nutrientes es un servicio ambiental en términos del ciclo biogeoquímico de cada uno de los elementos en la zona costera; de esta manera, se puede mantener la alta productividad y exportación de carbono de los manglares.

La deforestación de mangle es un problema nacional que genera pobreza. En la Figura 11 (izquierda.), tomada de Buendía Buendía (en prensa), se observa al norte de la Laguna Larga, en verde intenso, la cobertura de mangle en el año 2000, y a la derecha la imagen del año 2017 donde se observa en color gris que ese bosque de mangle fue sustituido por asentamientos humanos. De manera similar, la Figura 12 muestra el mapa de pérdidas, ganancias y persistencias del bosque de mangle en el SLCM; en un periodo de 17 años se perdieron 107.08 ha (en color rojo) que dejaron de dar servicios ambientales al SLCM. La experiencia muestra que el deterioro del sistema lagunar va de la mano con la tala de mangle o la pérdida de vegetación riverense (Wang *et al.*, 2010). El avance inmobiliario tarde o temprano modificará los parámetros ambientales. Cuesta mucho dinero regresar los servicios ambientales cuando se rebasa la capacidad de resiliencia del sistema.

## Conclusiones

Se estudiaron 11 años de muestreos en otoño e invierno. En este análisis multianual se percibe una variabilidad interanual. La temperatura del agua y la salinidad están controladas por la estación del año. El oxígeno disuelto se acercó a la hipoxia en Inv/16 e Inv/17, y los nutrientes (N y P) no presentan valores altos. El cociente N/P en general sugiere una deficiencia de nitrógeno en el SLCM. La concentración de clorofila *a* en general fue baja, pero se presume una dinámica intensa por los filtradores de la región. Las variables clorofila *a* y el carbono orgánico particulado (COP), no presentan patrones ni anuales ni estacionales; sin embargo, se sugiere que tiene importancia trófica dentro del SLCM y se mantienen en niveles bajos por la exportación al mar costero. La posible resiliencia del SLCM se ve comprometida por la tala de mangle.

## Agradecimientos

Este trabajo forma parte del Servicio Social prestado por Elizabeth García Baeza, mientras que los datos de cambio de cobertura de mangle son parte del Servicio Social de Laura Lisbeth Buendía-Buendía, ambas en la carrera de Biología de la UAMX. Se agradece a la Coordinación de la Carrera de Biología de la UAMX el apoyo brindado, así como a todos los estudiantes que de alguna manera participaron en la generación de los datos.

## Bibliografía

- Abreu, P., Bergesch, M., Proença, L., Garcia C. y Odebrecht, C. (2010). Short- and Long-Term Chlorophyll *a* Variability in the Shallow Microtidal Patos Lagoon Estuary, Southern Brazil. *Estuaries and Coasts*, 33, 554-569. <https://doi.org/10.1007/s12237-009-9181-9>
- Aldeco, J., Cortés-Ávalos, G. y Jurado-Molina, J. (2015). Adaptaciones culturales y económicas a cambios provocados por tala de mangle y deterioro pesquero en Mandinga, Veracruz. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 15(2), 137-158.
- Buendía-Buendía, L., Aldeco J. y Roldán, I. (s.f.). Análisis de las tendencias de cambio del bosque de mangle (2000-2017) en el Sistema Lagunar Costero de Mandinga, Veracruz, México. *Sociedades Rurales y Medio Ambiente* [En prensa].
- CONABIO. (2021). Manglares. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares>
- Contreras-Espinosa, F., Castañeda-López, O. y García-Nagaya, A. (1994). La clorofila *a* como base para un Índice Trófico en Lagunas Costeras Mexicanas. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 438(1-2). <http://biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1994-1-2/articulo438.html>
- De la Lanza, G. y Cáceres, C. (1994). *Lagunas costeras del litoral mexicano*, Universidad Autónoma de Baja California Sur, AGT Editores.
- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*, Instituto de Geografía, Serie Libros, núm. 6, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gómez-Ortega, R., De la Lanza-Espino, G., Tovilla-Hernández, C., Barba-Macías, E., Valle-Mora, J., Castañeda-López, O. y Ramos-Santiago, E. (2017). Cambios ambientales y tróficos a través de un análisis a largo plazo del sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México. *Journal of Marine and Coastal Sciences*, 9(2), 75-100. <https://doi.org/10.15359/revmar.9-2.4>
- Gutiérrez-Vivanco, J. (2010). *Variación espacio-temporal de los parámetros físico químicos, clorofila-a y nutrientes en la Laguna de Tampachoco-Veracruz (Golfo de México Occidental)* [Tesis de Maestría], Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Campus Tuxpan, México.
- Herrera-Silveira, J. (2006). Coastal Lagoon of Yucatan (SE, Mexico): Research, diagnostic and management. *Ecotrópicos*, 19(2), 94-108.

- Himes-Cornell, A., Grose, S. y Pendleton, L. (2018). Mangrove Ecosystem Service Values and Methodological Approaches to Valuation: Where Do We Stand? *Revista Frontiers in Marine Science*, 5(Article 376). <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00376>
- Jennerjahn, T. y Ittekkot, V. (2002). Relevance of mangroves for the production and deposition of organic matter along tropical continental margins. *Naturwissenschaften*, 89, 23-30. <https://doi.org/10.1007/s00114-001-0283-x>
- Kjerfve, B. (1978). *Coastal Lagoon Processes*, Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- Lara Lara, J. (1978). *Variability and Tidal Exchange of Ecological Properties in a coastal lagoon* [M. Sc. Thesis], School of Oceanography, Oregon State University, Corvallis.
- Navarro, J., Clasing, E., Urrutia G., Asencio, G., Stead, R. y Herrera, C. (1993). Biochemical composition and nutritive value of suspended particulated matter over a tidal flat of southern Chile. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 37, 59-73.
- Odum, E. y De la Cruz A. (1967). Particulate detritus in a Georgia salt marsh estuarine ecosystem. *Estuaries*, 83, 383-388.
- Parsons, T., Takahashi, M. y Hargrave, B. (1984). *Biological Oceanographic Processes*, Pergamon Press, 3rd ed., Oxford.
- Rahaman, S., Sarder, L., Ghosh, A., Biswas, S., Siraj, S., Huk, K., Hasanuzzaman, A. e Islam, S. (2013). Nutrient dynamics in the Sundarbans mangrove estuarine system of Bangladesh under different weather and tidal cycles. *Ecological Processes*, 2, 29-41. <https://doi.org/10.1186/2192-1709-2-29>
- Sabo, J. y Gerber, L. (2020). Trophic ecology. *AccessScience*, McGraw-Hill Education. <https://doi.org/10.1036/1097-8542.711650>
- Salas Monreal, D., Riveron Enzástiga, M., Salas Pérez, J., Bernal Ramírez, R., Marín Hernández, M. y Granados Barba, A. (2020). Bathymetric flow rectification in a tropical micro-tidal estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 235. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106562>
- Salcedo Garduño, M., Castañeda Chávez, M., Lango Reynoso, F., Sosa Villalobos, C., Landeros Sánchez, C., y Galaviz Villa, I. (2019). Influence of physicochemical parameters on phytoplankton distribution in the lagoon system of Mandinga, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 6, e427. <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e427>
- Sánchez Santillán, N., Garduño López, R., Vidal Zepeda, R. y Sánchez Trejo, R. (2012). Climate change in NE Mexico: influence of the North Atlantic Oscillation. *Investigaciones Geográficas*, 78, 7-18.
- Smith, V. (2006). Responses of estuarine and coastal marine phytoplankton to nitrogen and phosphorus enrichment. *Limnology and Oceanography*, 51(1, part 2), 377-384.
- Strickland, J. y Parsons, T. (1972). *A practical handbook of seawater analysis*, 2nd. Ed., Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.
- Wang, M., Zhang, J., Tu, Z., Gao, X., y Wang, W. (2010). Maintenance of estuarine water quality by mangroves occurs during flood periods: a case study of a subtropical mangrove wetland. *Marine Pollution Bulletin*, 60, 2154-2160. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.07.025>

## **Humedales: su importancia para controlar la contaminación producida por la descarga de agua residual**

Gabriel Martínez Herrera  
Juan Camacho Orozco

### **Introducción**

El reabastecimiento de agua depende fundamentalmente de la lluvia y de los recursos forestales que existen dentro de las cuencas. Los lagos y ríos se encuentran impactados por las descargas, tanto de aguas residuales urbanas como de fertilizantes producto de la actividad agrícola, además de las poblaciones que se encuentran establecidas en las riveras. Las cuencas de los lagos también sufren problemas de deforestación que a su vez ocasiona erosión hídrica y azolve de sedimentos. Asimismo, la eutrofización está presente con la infestación de especies como el lirio acuático. Otro inconveniente es la variación tan fuerte en el balance hídrico, por ejemplo, para el año 2016 se tenía un déficit de 26 Mm<sup>3</sup>, pero para el año 2019 se tiene un equilibrio, llegando solo a 4 Mm<sup>3</sup>. Sin embargo, para el año 2020 se regresó al déficit de 2016.

La conservación de los lagos tiene que ser una preocupación de las autoridades federales, estatales y sobre todo municipales, así como de la población en general que es la directamente afectada, de ahí la importancia en la inversión para la construcción de humedales artificiales que «son sistemas diseñados y construidos para aprovechar los procesos naturales que involucran plantas macrófitas, medio filtrante y comunidades microbianas en el tratamiento de aguas residuales» (Vymazal, 2005, p. 20) de las poblaciones, principalmente urbanas, que descargan sus efluentes en los lagos. Las plantas utilizadas deben ser autóctonas como carrizo (*Phragmites australis*) y tule o chuspata (*Typha latifolia*) en la zona de tratamiento y en la zona final de acondicionamiento del agua, antes del tanque de reposo, se usan alcatraces (*Zantedeschia aethiopica*).



Figura 1. Santa Fe de la Laguna, Michoacán, México.

La contaminación del agua «Consiste en una modificación, generalmente provocada por el hombre, de la calidad del agua haciéndola impropia para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural» (Carta del Agua, Consejo de Europa).



Los humedales son alternativas de tratamiento de aguas de forma natural, dando de manera artificial las condiciones que favorezcan el proceso de depuración de las aguas residuales.

## Metodología

Se realizaron, y se siguen realizando a la fecha, visitas para evaluar el funcionamiento de los sistemas de tratamiento de agua residual en especial de los humedales. Se realizaron las mediciones de parámetros de campo como pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura, color aparente, materia flotante. La caracterización se realizó de acuerdo al procedimiento normado.

**Tabla 1**  
Cobertura de tratamiento para el Lago de Pátzcuaro.

<b>COBERTURA LAGO PÁTZCUARO</b>					
<b>Municipio</b>	<b>Localidad</b>	<b>PTAR</b>	<b>Tipo de Proceso</b>	<b>Capacidad Instalada (L/seg)</b>	<b>Gasto tratado (L/seg)</b>
Pátzcuaro (3)	Pátzcuaro	1o y 2o Módulo San Pedrito	Sistema de lodos activados, modalidad aireación extendida.	100	20
	Pátzcuaro	3er Módulo San Pedrito	Sistema de lodos activados, modalidad aireación extendida.	50	0
	Pátzcuaro	Las Garzas	Sistema de lodos activados, modalidad aireación extendida.	20	20
	Janitzio	Janitzio	Sistema de lodos activados, modalidad aireación extendida.	7	2.5
	Quiroga	Quiroga	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA).	20	20
	Quiroga	Quiroga	Sistema Dual Híbrido de aireación con biocontactores rotativos.	50	0
Quiroga (5)	Santa Fe de la Laguna	Humedal Experimental	Sistema Lagunar con llenos de filtro	3	2
	San Jerónimo Perenchecuario 1	Humedal Experimental	Sistema Lagunar con llenos de filtro	0.8	0.8
	San Jerónimo Perenchecuario 2	Humedal Experimental	Sistema Lagunar con llenos de filtro	1.5	1
Tzintzuntzan (2)	Cucuchucho	Humedal Experimental	Sistema Lagunar con llenos de filtro	0.5	0.5
	Tzintzuntzan	Tzintzuntzan	Sistema Dual Híbrido de aireación con biocontactores rotativos.	10	0
Erongarícuaro (1)	Erongarícuaro	Humedal Experimental	Sistema Lagunar con llenos de filtro	3.3	3
<b>Total</b>				<b>266.1</b>	<b>69.8</b>

Los procedimientos de prueba de laboratorio se efectuaron conforme a la normatividad vigente, las evaluaciones de funcionamiento con los nuevos flujos y parámetros actuales, y se siguen por medio de cálculos actuales para poder comparar el diseño original.

### **Sitios de muestreo**

Los sitios del muestreo fueron indicados por personal del sistema de agua potable del municipio donde pertenecen los sistemas de tratamiento, así como por los encargados de la operación o la limpieza de los mismos, mientras que los rediseños se siguen con CONAGUA.

### **Resultados**

Al momento, y como se había mencionado en trabajos anteriores, como resultado se puede observar que se tienen bajas remociones de DQO (70 %). En los humedales se observa un incremento en la concentración de las formas nitrogenadas estables (nitratos), pese a que en los humedales se observó poco mantenimiento en cuanto a la altura de las plantas, deficiencias en la operación del pretratamiento y alta densidad de plantas por área, se tienen remociones y condiciones satisfactorias para el cumplimiento de la normatividad vigente. Se observa al igual que la DQO que la remoción para la DBO también es baja, el valor de acuerdo a la norma 001 está casi en el límite, por lo que si se aplicara el criterio para la protección de la vida acuática, no pasaría. El diseño original fue el correcto; sin embargo, la falta de mantenimiento y seguimiento al incremento de flujo y contaminantes, provocó que los humedales se salieran de la operación correcta en casi un 70 %. Otro resultado a destacar, es el hecho de que la mayoría de la población desconoce el problema que se origina al no tratar correctamente sus aguas residuales.

### **Conclusiones**

1. Se requiere de manera urgente involucrar a la población en el problema del saneamiento del agua residual.
2. Aunque existe descuido en el mantenimiento periódico de los humedales en general, sí hay una reducción de la contaminación, aunque existe el riesgo de no pasar la NOM.
3. Se recomienda dotar de la herramienta mínima necesaria a cada uno de los sistemas de tratamiento para el mantenimiento diario y preventivo que deba realizarse.
4. Se requiere capacitación y profesionalización de las personas responsables de las actividades y evitar, en la medida de lo posible, el cambio y rotación del personal.
5. Se necesita llevar una bitácora de control que permita el análisis del funcionamiento que incluya los parámetros mínimos determinables y la forma de realizarlos.

6. Se requiere establecer un programa de mantenimiento preventivo anual, el cual deberá incluir:
  - Tiempo y época para la poda de las plantas para los humedales
  - Desalojo de los lodos de los sistemas de sedimentación
  - Degradación e inactivación de vectores de los sólidos retirados de los sistemas de pretratamiento
  - Retiro de algas, lirio y basura (ramas, hojas, plásticos) en las lagunas de depuración
  
7. Se requiere la vinculación y la comunicación permanente entre los organismos operadores o comités de agua, responsables de los trabajos de los humedales con la Gerencia Operativa de la Comisión de cuenca del lago.

## **Bibliografía**

- Morel, A. y Diener, S. (2006). *Greywater management in low and middle-income countries, review of different treatment systems for households or neighbourhoods*, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf, Switzerland. <http://www2.gtz.de/Dokumente/oe44/ecosan/en-greywater-management-2006.pdf>
- Rodríguez, J., Casas, J., Mohedano, A., Zazo, J. y Pliego, G. (2010). *Tecnologías de tratamiento de agua para su reutilización*, Programa Consolider Tragua, España.
- Vargas S. y Guzmán Ramírez, N. (2009). Deterioro de la cuenca del lago de Pátzcuaro cambios en la identidad étnica p'urhépecha. *XXVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología. VIII Jornadas de Sociología de la Universidad de Buenos Aires*, Asociación Latinoamericana de Sociología, Buenos Aires.

## La sección *INCARNATAE* de *SALVIA* subgénero *CALOSPHERE* (Lamiaceae)

Liliana Andrés Hernández  
María de la Luz Pérez García  
Sabina I. Lara Cabrera

### Introducción

Entre las flores más lindas que adornan los paisajes de México se encuentra *Salvia* L. subgénero *Calosphace* (Benth.) Epling con cerca de 600 especies (Martínez-Gordillo *et al.*, 2017; Jenks *et al.*, 2013; Fragoso-Martínez *et al.*, 2018). La clasificación del subgénero es compleja por contar con muchas especies y variación que ocasionalmente dificulta la identificación e hipótesis de sus relaciones de parentesco. Epling (1939) realizó la revisión de *Calosphace* más completa a la fecha; basándose principalmente en caracteres morfológicos, reproductivos y de distribución, reconociendo inicialmente 93 secciones que incrementaron a 102 en revisiones posteriores (Epling 1940, 1941, 1944, 1947, 1951; Epling y Jativa 1962, 1963, 1965; Epling y Mathias, 1957); de las cuales 59 se distribuyen en México y 25 secciones son endémicas al país (Ramamoorthy y Elliot, 1998). Esta clasificación, sin embargo, ha sido cuestionada, por la homoplasia en los caracteres diagnósticos y distribuciones disyuntas (Ramamoorthy y Elliot, 1998; Standley y Williams, 1973; Walker *et al.*, 2007), haciendo evidente la necesidad de una revisión de *Calosphace*, con un esfuerzo que involucra a numerosos investigadores (Martínez-Gordillo *et al.*, 2017; Olvera-Mendoza *et al.*, 2019; González Gallegos *et al.*, 2020).

El estudio de *Salvia* subgénero *Calosphace* se ha enfocado en grupos de especies, sean por sección *sensu* Epling o por complejos de especies, utilizando herramientas morfológicas así como moleculares, como ha sido el caso para las secciones *Lavanduolides* (Fragoso-Martínez, 2014), *Membranaeae* (Fragoso-Martínez, 2011; González-Gallegos, 2014); *Scorodoniae* (Olvera-Mendoza *et al.*, 2017) y los complejos *Scorodoniae*, *Sigmoideae* y *Uricae* (Olvera-Mendoza *et al.*, 2019) y *Iodanthae/Purpureae/Polystachyae* (Bedolla-García, 2012). Una problemática generalizada en sistemática, no solo en *Salvia* es la discordia de los resultados obtenidos por ambas herramientas, donde la morfología apoya la monofilia de la sección e incluso de algunas de sus especies y los análisis de secuencias la rechazan, dependiendo si se utilizan secuencias del cloroplasto o del núcleo, siendo pocas las ocasiones en que hay correspondencia de ambas fuentes de evidencia. De las 42 secciones de *Calosphace* para las que se ha evaluado su monofilia, sólo catorce se han recuperado como monofiléticas con evidencia molecular (Fragoso-Martínez *et al.*, 2018; Lara-Cabrera en prensa).

Una de las secciones que constantemente ha resultado monofilética es *Incarinatae* (Walker *et al.*, 2007; Jenks *et al.*, 2013; Fragoso-Martínez *et al.*, 2018; Lara-Cabrera, en prensa), con las dos especies que la conforman; *Salvia elegans* Vahl. y *Salvia cinnabarina* Mart. & Gal. *Incarinatae*. Sin embargo, a pesar de ser especies morfológicamente bien reconocidas; a la fecha no se ha confirmado la monofilia de sus especies. Únicamente el estudio de Walker y colaboradores (2007) evalúa dos ejemplares de *S. elegans*, uno silvestre y otro de origen cultivado *Salvia rutilas* Carrière (sinónimo de

*S. elegans*); estas dos muestras están separadas por *S. cinnabarina* en un clado interno con *S. rutilans* y hermano a otra muestra de *S. elegans*, sugiriendo, así que *S. elegans* no es monofilético.

En este estudio se presenta un análisis exploratorio de la monofilia de *S. elegans* y *S. cinnabarina* con un análisis cladístico de caracteres morfológicos y una propuesta filogenética basada en secuencias del espaciador interno transcrito (ITS) del ADN ribosomal, espaciador ampliamente utilizado para resolver relaciones entre especies cercanamente emparentadas (Baldwin *et al.*, 1995, Nilsson *et al.*, 2008, Sugita *et al.*, 2002, Schoch *et al.*, 2012, Warwick *et al.*, 2010, Kriebel *et al.*, 2019), para determinar si ambas especies de *Incarnatae* son monofiléticas.

## Metodología

Para el análisis cladístico de la morfología de *S. cinnabarina* y *S. elegans*, se disectaron 35 especímenes como muestras representativas de la variación de cada especie, entre ejemplares bajo resguardo de los herbarios EBUM, ENCB, IEB y MEXU; para las que también se generó un mapa en ArcGis Ver. 9.3. Como grupo externo en el análisis morfológico se incluyen *Salvia corrugata* Vahl y *Salvia lachnostachys* Benth. Para el análisis de secuencias ITS se incluyeron especies de varias secciones para dar soporte al clado *Incarnatae* (Pérez-García, 2013).

De los caracteres morfológicos evaluados se seleccionaron 12 caracteres del cuerpo vegetativo [forma de la hoja, forma del ápice, base y margen de la hoja, pubescencia del envés] y tres del cuerpo reproductivo [número de flores por verticilo, labio superior del cáliz con diente trífido, diente superior del cáliz acuminado, presencia de muesca en la base de la corola, color de la corola, presencia de lóbulos en el labio inferior de la corola, exserción del androceo, forma del estilo y su pubescencia] incluyendo así, caracteres diagnóstico y polimórficos (Andrés, 2011); la matriz se codificó en caracteres binarios o multiestado y posteriormente se realizó el análisis cladístico en a Winclada v. 1.00.08 (Nixon, 2002) con una búsqueda heurística de 1,000 réplicas.

El análisis molecular incluye 47 muestras, 11 de las cuales pertenecen a *S. elegans*, 11 a *S. cinnabarina* y se incluye una muestra para 23 especies del grupo externo (Andrés, 2011; Pérez-García 2013), dos muestras de *Salvia axillaris* Mooc. & Sessé ex., Benth (Secc. *Axillares*) y dos de *S. lachnostachys* (Secc. *Uliginosae*). La extracción del ADN se realizó con el protocolo de MINI-PREP de Lefort y Douglas (1999) con modificación según Lambertini (2008) o DNeasy Plant Mini Kit Quiagen, siguiendo las indicaciones del proveedor. La amplificación de la región ITS, se llevó a cabo en un termociclador 'Eppendorf Mastercycler gradient', los productos del PCR se enviaron a Macrogen Korea para su purificación y secuenciación. La información de los electrofenogramas se editó en Sequencher v.4.8 (Gene codes Corp., Ann Arbor, Michigan, USA). Posteriormente se alineó las secuencias en Bioedit v. 7.1.7 (Hall, 1999) con alineamiento múltiple ClustalW manteniendo los parámetros pre establecidos en el programa. El modelo de evolución molecular más adecuado se eligió utilizando Modeltest v. 3.7 (Posada y Crandall, 1998). Se utilizó el programa IQtree version 1.6.10 (Nguyen, 2015) para crear un árbol de máxima verosimilitud con 10000 réplicas.

## Resultados y Discusión

El árbol de consenso estricto para la evidencia morfológica (Figura 1), muestra el grupo externo con *S. corrugata* hermana del resto de las muestras, seguida de *S. lachnostachys* como hermana al clado *Incarnatae* en una rama con 100 % soporte bootstrap y 100% soporte Jackknife (100/100) y dos clados monofiléticos de *S. cinnabarina* (soporte 83/85) y *S. elegans* pero con muy bajo soporte (57/57).

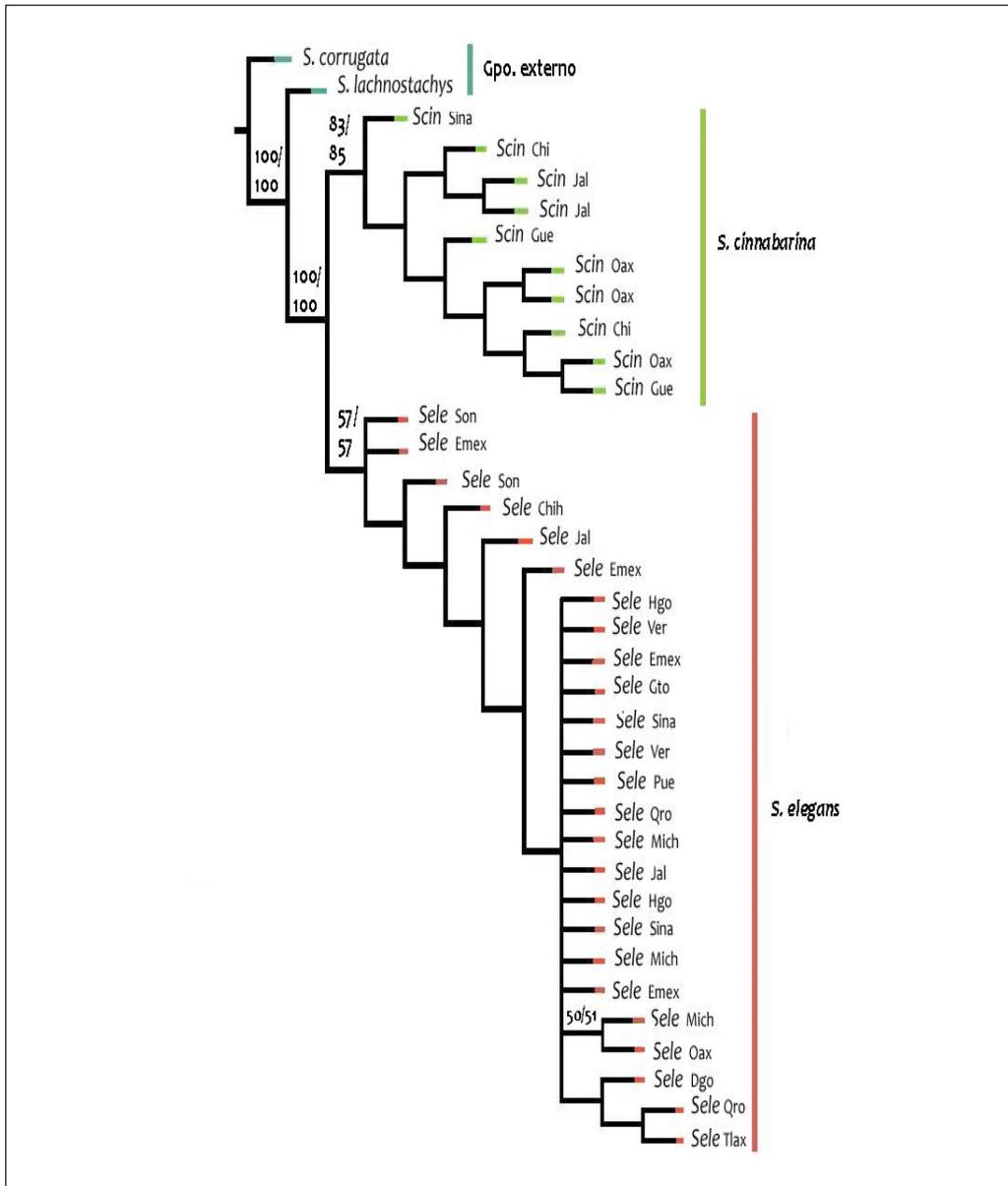


Figura 1. Árbol de consenso estricto de 241 pasos CI=0.34 RI=0.53, el soporte Bootstrap/Jackknife se muestran arriba de las ramas.

La monofilia de la sección *Incarinatae* se confirma como en otros casos (Jenks *et al.*, 2013; Fragoso-Martínez *et al.*, 2018; Lara-Cabrera, en prensa) y la de *S. cinnabarina*; sin embargo, aunque las diferencias en la morfología de ambas especies es clara (Lara-Cabrera, 2012) como se muestra con fines ilustrativos en la Figura 2 y siguiendo también a Epling (1939) y su distribución es distinta (Figura 3) la monofilia de *S. elegans* no es tan evidente.



De 1 a 3 flores por verticilastro *S. elegans*



De 4 a 11 flores por verticilastro *S. cinnabarina*



Cáliz de *Salvia elegans* con el labio superior trívido



Cáliz de *Salvia cinnabarina*  
con el labio superior acuminado

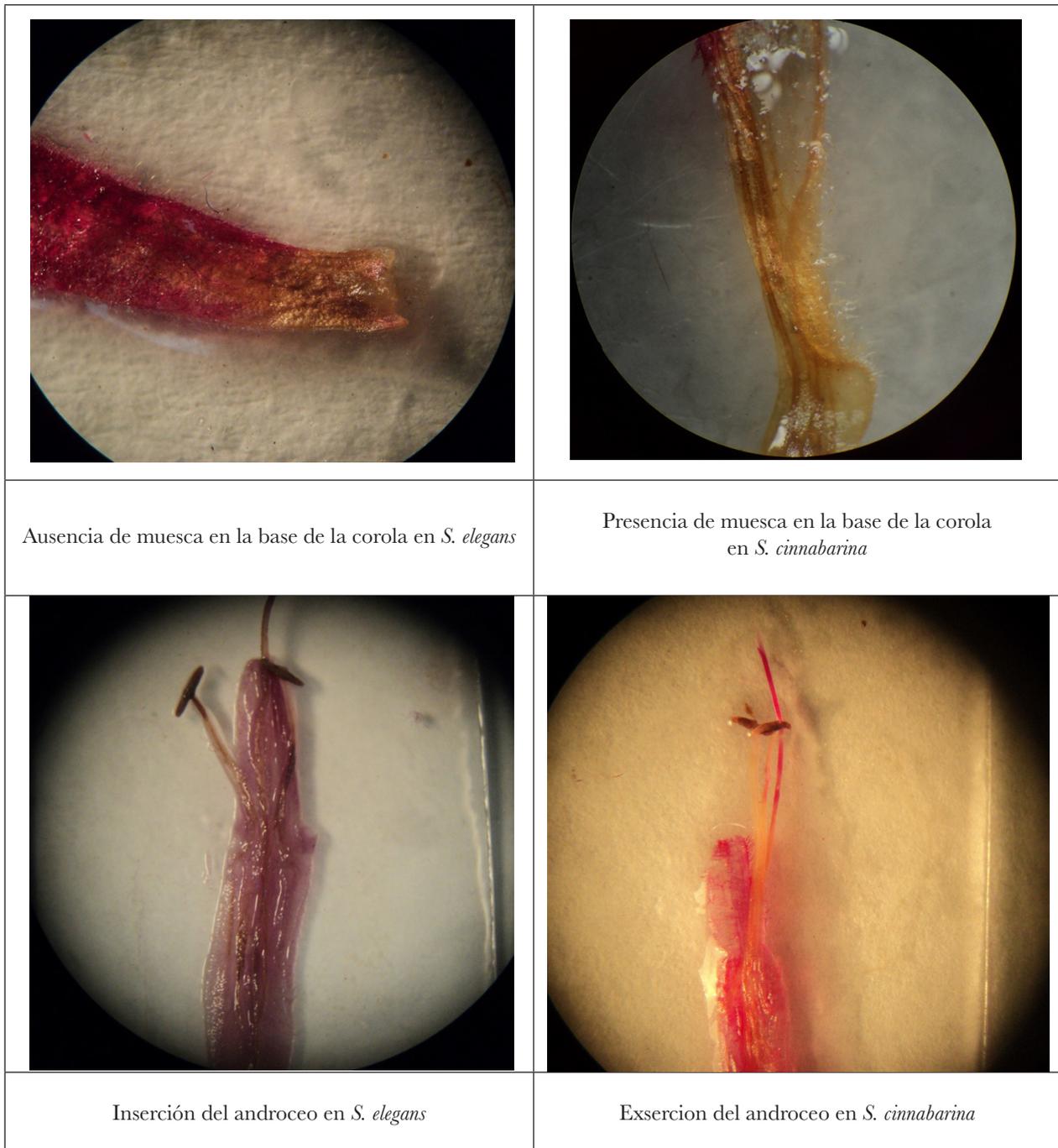


Figura 2. Principales diferencias entre *Salvia elegans* (imágenes a la izquierda) y *S. cinnabarina* (imágenes a la derecha).

Se obtuvo un alineamiento de 47 taxa con un total de 832 caracteres de los cuales 195 fueron parsimoniosamente informativos, 192 sitios singletons y 445 sitios constantes. La sección *Incarinatae* es monofilética con soporte del 94%, pero se observan muestras de *S. elegans* como hermanas en una politomía de dos clados pequeños de *S. elegans* (Figura 4) y un clado bien soportado (89%) que agrupa los ejemplares de *S. cinnabarina*.

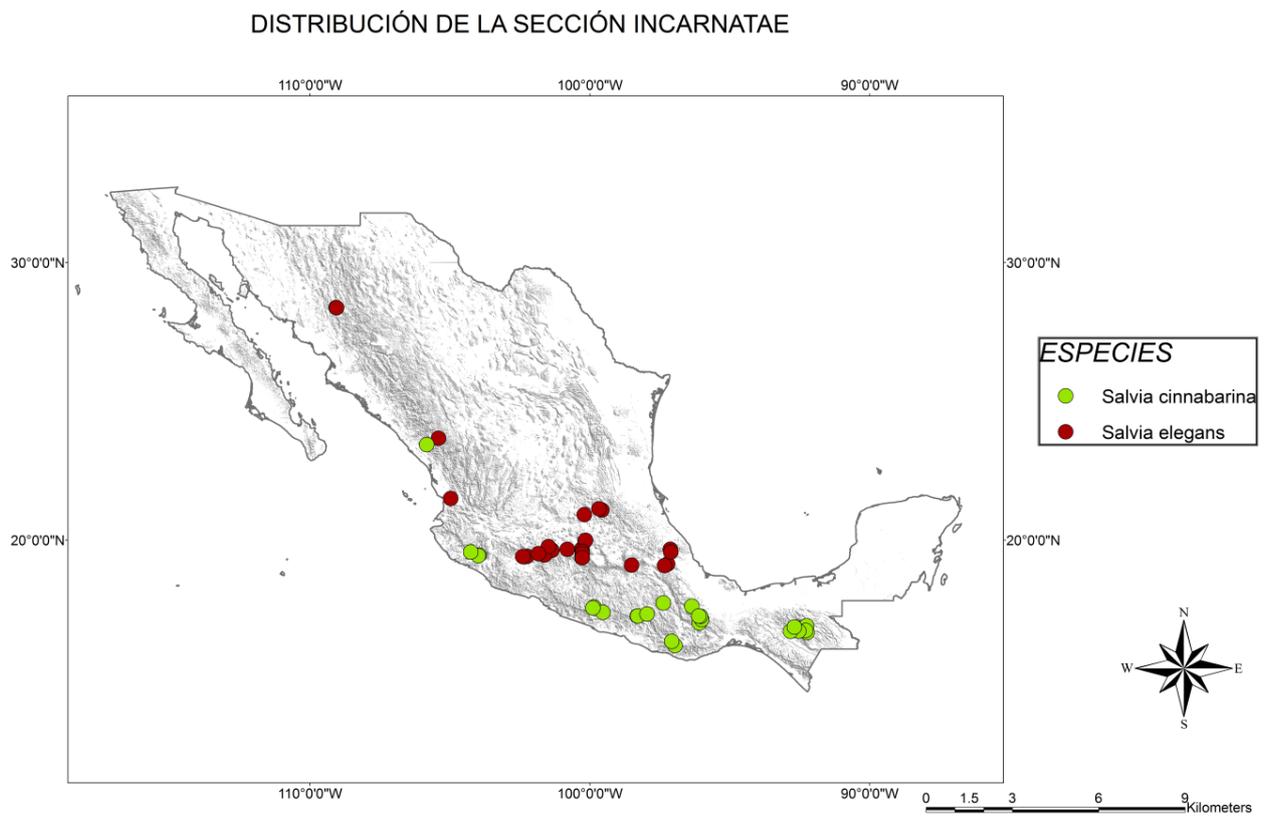


Figura 3. Mapa de distribución de *Salvia cinnabarina* y *S. elegans* y en México.

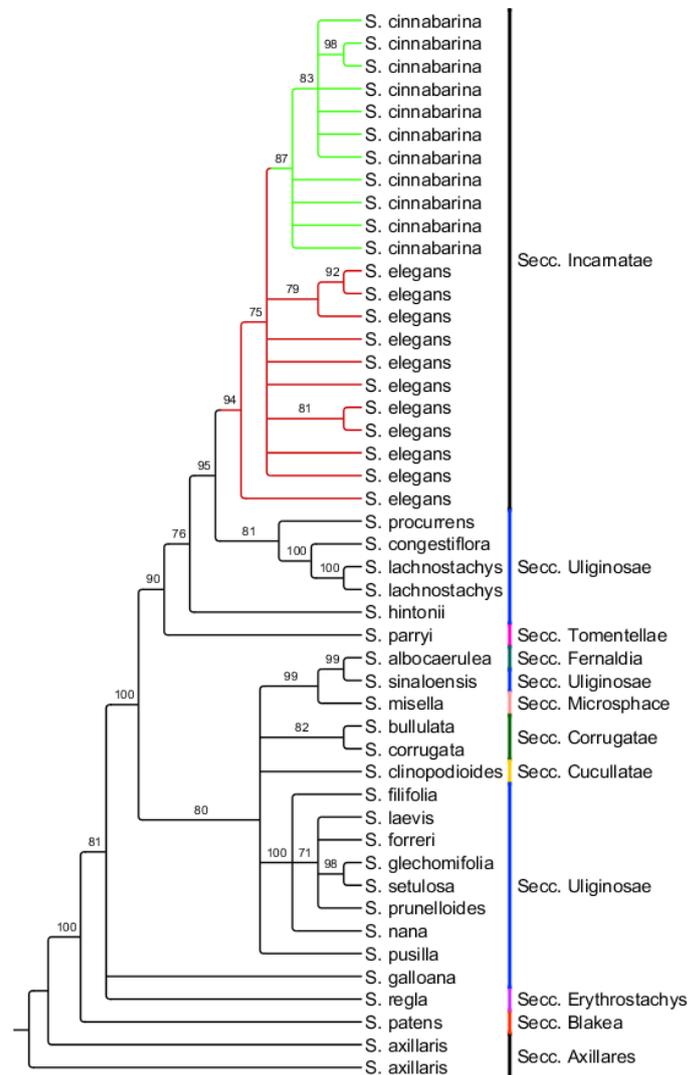


Figura 4. Árbol de máxima verosimilitud de secuencias de ITS colapsado al 70% realizado con IQTree, se muestra soporte Bootstrap arriba de las ramas.

Los datos que aquí presentamos mantienen como monofilética a *Salvia* secc. *Incarnatae* siendo a su vez hermana del ‘clado *Uliginosae*’ como se ha observado en otras contribuciones (Walker *et al.*, 2007; Jenks *et al.*, 2013; Fragoso-Martínez *et al.*, 2018; Lara-Cabrera, en prensa) por lo que la clasificación seccional para estas especies es filogenéticamente adecuada y se debe mantener la sección *Incarnatae*. Sin embargo, de sus dos especies, *S. cinnabarina* es evidentemente monofilética, tanto en el análisis morfológico como para la filogenia de ITS pero *S. elegans* es monofilética sólo en el análisis morfológico aunque con bajo soporte. En el análisis de ITS los individuos de *S. elegans* se encuentran inmersos en un mismo clado con *S. cinnabarina* como se observa también en una la topología de Walker y colaboradores (2007), posiblemente la falta de resolución de las secuencias ITS se deba a que son especies de divergencia reciente (Jorgensen, 2003) o que *S. cinnabarina* es re-

sultado de especiación al interior de *S. elegans*; la respuesta a esto deberá obtenerse con un estudio filogeográfico de las poblaciones de ambas especies.

## Referencias

- Andrés Hernández, L. (2011). Sistemática de *Salvia* sección *Incarnatae* (Lamiaceae) basada en marcadores moleculares y morfología. Tesis de licenciatura. Facultad de biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México pp. 1–165.
- Baldwin, B., Michael, G., Sanderson, J., Porter, J.M., Wojciechowski, F.M., Christopher, S. Campbell, S., & Donoghue, M.J. (1995). “The Its Region of Nuclear Ribosomal DNA: A Valuable Source of Evidence on Angiosperm Phylogeny.” *Annals of the Missouri Botanical Garden* 82, no. 2 (1995): 247–77.
- Bedolla-García, B.Y. (2012). Filogenia de *Salvia* secc. *Polystachyae* (Lamiaceae). Tesis de doctorado. Facultad de biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México pp. 1–165.
- Epling C. (1938). The Californian Salvias. *Annals of the Missouri Botanic Garden* 25, 95-189.
- Epling C. (1939). A revision of *Salvia*, subgenus *Calosphace*. *Beihefte Feddes Repertorium specierum novarum regni vegetabilis* 110, 1–383.
- Epling C. (1940). Supplementary notes on American Labiatae. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 67, 509–534.
- Epling C. (1941). Supplementary notes on American Labiatae-II. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 68, 552–568.
- Epling C. (1944). Supplementary notes on American Labiatae-III. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 71, 484–497.
- Epling C. (1947). Supplementary notes on American Labiatae-IV. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 74, 512–518.
- Epling C. (1951). Supplementary notes on American Labiatae-V. *Brittonia* 7, 129–142.
- Epling C., Jativa, M.C. (1963). Supplementary notes on American Labiatae-VIII. *Brittonia* 15, 366–376.
- Epling C., Jativa M.C. (1968). Supplementary notes on American Labiatae-X. *Brittonia* 20, 295–313.
- Epling C., Mathias M.E. (1957). Supplementary notes on American Labiatae-VI. *Brittonia* 8, 297–313.
- Fragoso-Martínez, I. (2011). Revisión taxonómica de la sección *Membranaceae* del género *Salvia* en México. Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City.
- Fragoso-Martínez, I. (2014). Análisis filogenético del complejo *Salvia lavanduloides* Kunth (Lamiaceae). Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City.
- Fragoso-Martínez, I., Martínez-Gordillo, M., Salazar, G.A., Sazatornil, F., Jenks, A.A., García Peña, M.D.R., Barreira-Aveleida, G., Benitez-Vieyra, S., Magallón, S., Cornejo-Tenorio, G. y Granados Mendoza, C. (2018). Phylogeny of the Neotropical sages (*Salvia* subg. *Calosphace*; Lamiaceae) and insights into pollinator and area shifts. *Plant Systematics and Evolution* 304: 1–13.
- González-Gallegos, J.G. (2014). Revision of *Salvia* subg. *Calosphace* sect. *Membranaceae* (Lamiaceae). *Telopea* 16:43–81.

- González-Gallegos J.G., Bedolla-García, B.Y., Cornejo-Tenorio, G., Fernández-Alonso, J.L., Frago-Martínez, I., García-Peña, M.R., Harley, R.M., Klitgaard, B., Martínez-Gordillo, M.J., Wood, J. R.I., Zamudio, S., Zona, S. y Xifreda, C.C. (2020). Richness and distribution of *Salvia* subgenus *Calosphace* (Lamiaceae). *International Journal of Plant Sciences*. 181(8), 831–856.
- Hall, T.A. (1999). BioEdit: A User-Friendly Biological Sequence Alignment Editor and Analysis Program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*, 41, 95–98.
- Jenks, A.A., Walker, J.B., Kim, S.C. (2013). Phylogeny of New World *Salvia* subgenus *Calosphace* (Lamiaceae) based on cpDNA (psbA-trnH) and nrDNA (ITS) sequence data. *Journal of Plant Research* 126: 483–496.
- Jorgensen, J. L., Stehlik, I., Brochmann, C., & Conti, E. (2003). Implications of ITS sequences and RAPD markers for the taxonomy and biogeography of the *Oxytropis campestris* and *O. arctica* (Fabaceae) complexes in Alaska. *American Journal of Botany*, 90(10), 1470–1480.
- Lambertini, J., Frydenberg, J., Gustafsson, M.H.G., & Brix, H. (2008). Herbarium specimens as a source of DNA for AFLP fingerprinting of Phragmites (Poaceae): possibilities and limitations. *Plant Systematics and Evolution*, 272:223–231.
- Kriebel, R., Drew, B.T., Drummond, C.P., GonzálezGallegos, J.G., Celep, F., Mahdjoub, M.M., Rose, J.P., Xiang, C.-L., Hu, G.-X., Walker, J.B., Lemmon, E.M., Lemmon, A.R., Sytsma, K.J. (2019). Tracking temporal shifts in area, biomes, and pollinators in the radiation of *Salvia* (sages) across continents: leveraging anchored hybrid enrichment and targeted sequence data. *American Journal of Botany* 106(4): 573–597.
- Lara-Cabrera, S.I. (2012). *Salvia* sect. *Incarnatae* En: Davidse, G., M. Sousa Sánchez, S. Knapp y F. Chiang Cabrera. 2012. Rubiaceae a Verbenaceae. Flora Mesoamericana. Missouri Botanical Garden, St. Louis. 4(2): 405–406.
- Lara-Cabrera, S.I., Pérez-García, M.L., Maya-Lastra, C.A., Montero-Castro, J.C. Godden, G.T., Cibrián-Jaramillo, A, Fisher, A. E. y Porter, J.M. (En prensa). Phylogenomics of *Salvia* L. subgenus *Calosphace* (Lamiaceae). *Frontiers in Plant Science*.
- Lefort F. y Douglas, G.C. (1999). An Efficient micro-method of DNA Isolation from nature leaves of for herdwood tree species *Acer Fraxinus*, *Pinus* and *Quercus*. *Ann. For. Sci.* 56:259-263.
- Martínez-Gordillo, M., Bedolla-García, B.Y., Cornejo-Tenorio, G., Frago-Martínez, I., García-Peña, M.R., González-Gallegos, J.G., Lara-Cabrera, S.I. y Zamudio, S. (2017). Lamiaceae de México. *Botanical Sciences* 95(4): 780–806.
- Nguyen, L.-T., Schmidt, H.A., von Haeseler, A. & Minh, B.Q. (2015). IQ-TREE: A fast and effective stochastic algorithm for estimating maximum likelihood phylogenies. *Molecular Biology and Evolution*, 32, 268-274. <https://doi.org/10.1093/molbev/msu300>
- Nixon, K.C. (2002). WinClada, Version 1.00.08. Ithaca, New York.
- Olvera-Mendoza, E.I., Bedolla-García, B.Y. y Lara-Cabrera, S.I. (2017). Revisión taxonómica de *Salvia* subgénero *Calosphace* sección *Scorodoniae* (Lamiaceae), endémica de México. *Acta Botánica Mexicana* 118:7–40.
- Olvera-Mendoza, E.I., Godden, G.T., Montero-Castro, J.C., Porter, J.M., y Lara-Cabrera, S.I. (2019). Chloroplast and nuclear ribosomal cistron phylogenomics in a group of closely related sections in *Salvia* subg. *Calosphace*. *Brazilian Journal of Botany*, 43(1), 177–191.
- Pérez-García, M.L. (2013). Filogenia preliminar de *Salvia* subgénero *Calosphace* (Lamiaceae) con énfasis en grupos mexicanos. Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

- Posada, D. & Crandall, K.A. (1998). Modeltest: testing the model of DNA substitution. *Bioinformatics*, 14 (9): 817–818.
- Ramamoorthy, T.P. y Elliott, M. (1998). Lamiaceae de México: diversidad, distribución, endemismo y evolución. En: Ramamoorthy, T. P., Bye, R., Lot, A., and Fa, J., eds. Diversidad biológica de México: orígenes y distribución. México; Instituto de Biología, UNAM pp. 501–525.
- Standley, P.C. y Williams, L.O. (1970–1973). Flora of Guatemala. *Fieldiana Botany*. series. v. 24. part 9 (3): 273–301.
- Sugita, T., Nakajima, M., Ikeda, R., Matsushima, T., Shinoda, T. (2002). Sequence Analysis of the Ribosomal DNA Intergenic Spacer 1 Regions of *Trichosporum* Species. *Journal of Clinical Microbiology*. 40: 1826–1830.
- Schoch, C.L., Seifert, K.A., Huhndorf, S., Robert, V., Spouge, J.L., Levesque, C.A., Chen, W y Fungal Barcoding Consortium. (2012). Nuclear ribosomal internal transcribed spacer (ITS) region as a universal DNA barcode marker for Fungi. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(16), 6241–6246.
- Nilsson, R.H., Kristiansson, E., Ryberg, M., Hallenberg, N., y Larsson, K.H. (2008). Intraspecific ITS variability in the kingdom Fungi as expressed in the international sequence databases and its implications for molecular species identification. *Evolutionary bioinformatics online*, 4, 193.
- Walker J.B., Pereida E., Savolainen, V., Paton A. y Sytsma, K. (2007). A preliminary molecular phylogenetic analysis of *Salvia* subgenus *Calosphaea*. University of Wisconsin-Madison pp. 88–132.
- Warwick, S.I., Mummenhoff, K., Sauder, C.A., Koch, M.A. y Al-Shehbaz, I.A. (2010). Closing the gaps: phylogenetic relationships in the Brassicaceae based on DNA sequence data of nuclear ribosomal ITS region. *Plant Systematics and Evolution*, 285(3-4), 209-232.

## **Producción artesanal sustentable de miel de caña de azúcar en comunidades de Tabasco, México**

Kent Jiménez Jiménez  
Ana Laura Luna Jiménez  
Nicolás González Cortés  
Román Jiménez Vera

### **Introducción**

En los últimos años, el sector azucarero mexicano ha presentado una compleja problemática derivada de diversas circunstancias entre las que destacan, la paulatina obsolescencia en campo y en fábrica de sus procesos productivos y algunas consecuencias negativas de la llamada mundialización o globalización de la economía, que en una de sus facetas más concretas se ha caracterizado por la aparición en el mercado mundial de edulcorantes de una diversidad de productos sucedáneos y sustitutos de la sacarosa (Solís Fuentes *et al.*, 2010).

Esta agroindustria se ha reducido significativamente durante la última década, puesto que el aprovechamiento industrial de la caña de azúcar en México se reduce a la obtención de azúcar crudo, tipo estándar (Aguilar *et al.*, 2011). Asimismo, los edulcorantes alternativos han desplazado al azúcar en un segmento importante de mercado, por ello es necesario el desarrollo de nuevos productos acorde a las necesidades del mercado que satisfagan las necesidades del consumidor (García, 2011).

Sentís (2013) plantea que la mayor potencialidad para expandir la superficie sembrada se encuentra en los estados de Chiapas, Jalisco, Morelos y Puebla; sin embargo, la operación de los ingenios que se ubican en las entidades de Campeche, San Luis Potosí y Tabasco debe condicionarse debido a que tienen menor productividad asociada a limitantes de índole técnico-agronómico, ambiental y socioeconómico.

De acuerdo con Fócil (2019) en Tenosique, Tabasco, se encuentra el ingenio azucarero Azuremex, originalmente llamado Hermenegildo Galeana. Desde su construcción a finales de los años 60 ha pasado por las manos de varios dueños, uno de ellos los «Hermanos Jiménez Sainz», a quienes les fue vendido en los años 90 con una molienda de 264 mil toneladas de caña y una producción de 23 mil toneladas de azúcar. Durante la administración de los nuevos dueños la producción disminuyó al grado de llegar a moler 110 mil toneladas en una zafra, obteniendo nueve mil toneladas de azúcar, una disminución considerable.

Asimismo, Palma López y colaboradores (2002) realizaron una investigación en el campo cañero del ingenio Azsuremex (3731 ha), donde se ha utilizado por más de 15 años la dosis de fertilización 120-60-60, sin considerar la variedad, el ciclo de cultivo y el tipo de suelo. Con este manejo se obtuvo un rendimiento promedio de 65 t ha<sup>-1</sup>, el cual es inferior a 80 t ha<sup>-1</sup> que se obtienen en el ingenio Dos Patrias que se ubica en Teapa, Tabasco.

Dada la decadencia de la producción de azúcar estándar en la región, así como el cierre de actividades del ingenio Azsuremex hace tres años, se debe mirar hacia otros caminos donde la caña de azúcar pueda insertarse a otras cadenas de producción y comercialización, puesto que, puede aprovecharse para la producción de piloncillo o panela y, principalmente, para jarabes fructosados, consumo que destaca en el ámbito industrial tales como la refresquera, de galletas, alcoholera, de alimentos balanceados y para la alimentación animal (Pérez Sánchez, 2017).

Sin embargo, el consumo de panela es bajo debido, principalmente, a problemas de solubilidad y a que necesita ser raspada para emplearse como edulcorante en bebidas. En el caso del azúcar mascabado, aunque la disolución es buena, los residuos son indeseables en bebidas como el té. Como menciona Montenegro (2002), la ventaja de la panela sobre el azúcar refinado es que tiene un mínimo de aditivos químicos y es rica en los nutrientes aportados por el jugo de caña. Entre los inconvenientes como edulcorante de mesa están el que es difícil de seccionar antes de su uso y que los segmentos no se disuelven fácilmente. Aunque este autor reporta una mayor preferencia de los consumidores de la panela con el azúcar, 64.81 % y 58.64 % respectivamente.

Por otra parte, la vinculación al mercado de los pequeños productores artesanales de derivados de la caña de azúcar normalmente tiene condiciones de desventaja, ya que por su localización, falta de recursos e información, prevalencia de fallas de mercado y falta de organización, los pequeños productores enfrentan altos costos de transacción para desarrollar su actividad productiva, lo que se traduce en bajos precios por sus productos y baja competitividad. A ello se suman volúmenes reducidos, infraestructura inadecuada, instituciones débiles, asimetrías de mercado, así como una marcada inequidad de género (Baca *et al.*, 2018).

## Método

Se tomaron muestras de 125 ml de jarabe de caña de azúcar en una unidad productiva localizada en el ejido José María Pino Suarez 1ra sección, la cual se llevó a los laboratorios de la División Académica Multidisciplinaria de los Ríos para posteriormente realizarle los análisis físicos, microbiológicos y sensoriales.

La comunidad José María Pino Suarez está ubicada en el municipio de Tenosique, Tabasco, al margen del río Usumacinta, cuenta con 332 habitantes de los cuales 153 son hombres y 179 mujeres, las principales actividades económicas son: pesca, cultivo de caña de azúcar y cultivo de hortalizas y árboles forestales.

Se analizó la concentración de pH empleando potenciómetro (Conductronic pH120). La acidez se cuantificó empleando un método volumétrico (Yanes, 1985). Se pesaron 4.5 g de muestra en un vaso de precipitado de 100 ml. Se adicionaron 4.5 ml de agua destilada libre de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y tres gotas del indicador fenolftaleína al 1 %. Se tituló con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N hasta obtener una coloración rosa permanente. La concentración de azúcares se midió en Grados Brix, empleando refractómetro manual (Atago).

Mediante cultivo tradicional se identificaron los siguientes microorganismos: cuenta de bacterias aerobias en placa (Agar para Métodos Estándar) de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-092-SSA1-1994, determinación de coliformes totales en placa (Agar Eosina Azul de Metileno), según la NOM-113-SSA1-1994, *Staphylococcus aureus* (Agar de Baird Parker), según la NOM-115-SSA1-1994 y levaduras (Agar de Malta) de acuerdo con la NOM-111-SSA1-1994, método para cuenta de mohos y levaduras en alimentos.

El análisis sensorial se realizó con el apoyo de 30 jueces no entrenados (Anzaldúa, 1994). Se evaluó la aceptación, nivel de agrado y preferencia. Se utilizaron como referencias miel de abejas, miel de maíz y miel de maple, comerciales.

## Resultados

La evaluación sensorial es de gran importancia en todas las etapas de producción y desarrollo de la industria alimentaria, tanto para conocer las características como la aceptabilidad de un producto. La Figura 1 muestra los resultados de la evaluación sensorial, al comparar el jarabe de caña de azúcar con otras mieles comerciales, como la miel y los jarabes de maíz y maple. En los tres ejes evaluados: sabor, olor y color, la caña de azúcar se encontró con una aceptación mayor que el jarabe de maíz y de igual aceptación que la miel comercial.

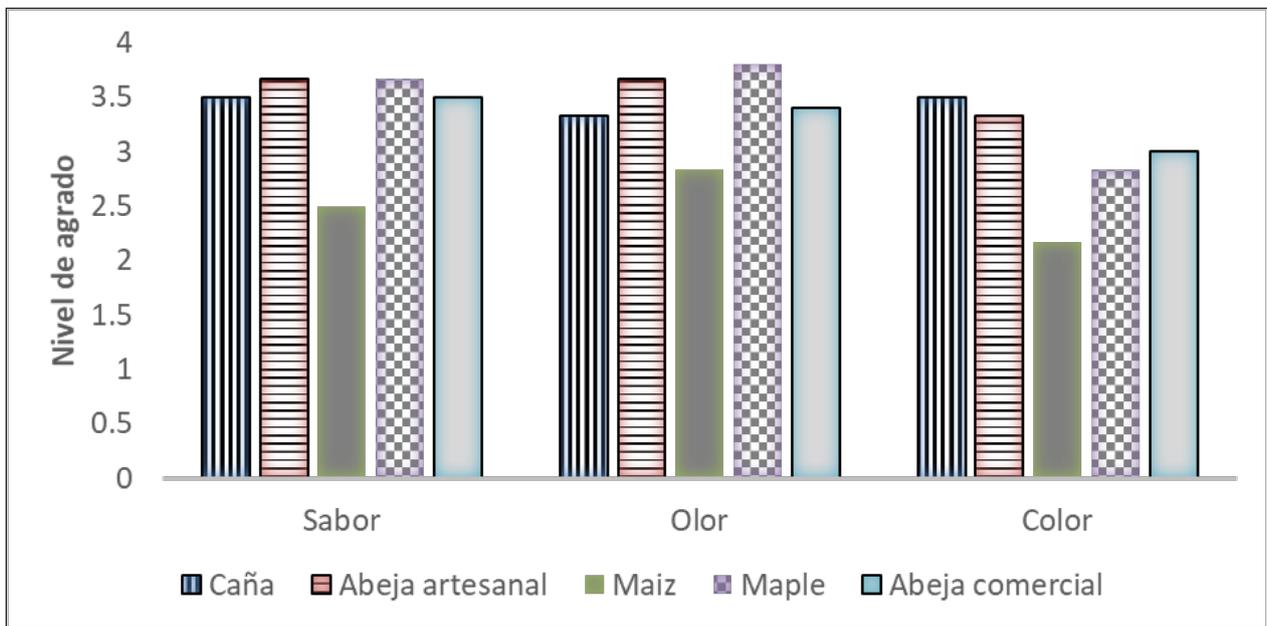


Figura 1. Análisis sensorial de miel de caña de azúcar y otras mieles.

Una de las características de los productos artesanales que deben analizarse es la calidad física y microbiológica. La Tabla 1 muestra los resultados de la comparación del análisis físico (acidez, pH y concentración de azúcares) en la miel de caña de azúcar y las mieles de referencia comerciales. El jarabe de caña presentó el mayor valor de acidez y pH, así como la menor concentración de azúcares, expresado como grados Brix.

**Tabla 1**  
Análisis físicos de miel y jarabes de diferente origen.

Productos	Acidez (%)	pH	Grados Brix
Jarabe de maple	1.4	4.86	74
Miel artesanal	7.3	4.52	75
Jarabe de caña de azúcar	9.5	5.45	70
Jarabe de maíz de alta fructosa	0.7	5.43	75
Miel comercial	7.0	4.54	78

El jarabe de caña de azúcar resultó ser el producto con el mayor contenido de acidez, siendo el menor el jarabe de maíz de alta fructosa. Sin embargo, en relación al pH, los jarabes de caña y de maíz presentaron valores similares. En cuanto a la concentración en Brix, el jarabe de caña de azúcar presentó la concentración más baja, lo cual tiene implicaciones en la legislación y en la contaminación por microorganismos.

La inocuidad de alimentos que se consumen sin tratamiento posterior es importante, ya que estos productos pueden ser los causantes de enfermedades transmitidas por alimentos. En la Tabla 2 se observan los resultados al evaluar la calidad microbiológica de la miel de caña de azúcar, ya que al ser un producto artesanal, es importante evaluar la seguridad alimentaria. Se encontraron 100 UFC/g de mesófilos aerobios que de acuerdo a la PROY-NOM-004-SAG/GAN-2018, es aceptable encontrar hasta 1,000 UFC/g. Es importante destacar que la interpretación de estos resultados se basa en una norma dirigida a miel de abeja, así mismo, no se encontraron coliformes totales y tampoco *Staphylococcus aureus*, ni levaduras en las muestras analizadas.

**Tabla 2**  
Concentración de microorganismos indicadores en jarabe de caña de azúcar.

Microorganismos	Jarabe de caña de azúcar UFC/g	PROY-NOM-004-SAG/GAN-2018 UFC/g
Mesófilos aerobios	100	Máximo 1,000
Coliformes totales	Sin crecimiento	-
<i>Staphylococcus aureus</i>	Sin crecimiento	-
Levaduras	Sin crecimiento	Máximo 100

## Discusión

El nuevo patrón de consumo, caracterizado por el consumo elevado de alimentos procesados con modificaciones que afectan al contenido en grasa y azúcares se aleja notablemente del patrón alimentario tradicional (García Almedia *et al.*, 2013).

La concentración de azúcares es un parámetro de calidad que, además del valor, influye en la conservación del producto. De acuerdo con la FAO (s/f), el jarabe de caña de azúcar debe contener una concentración de sólidos solubles entre 72 % y 75 %, es transformado en jarabe líquido sin ser cristalizado. En general, el jarabe con una concentración mayor a 75 % grados Brix puede cristalizarse, excepto cuando la concentración de azúcares reductores es mayor a 15 %, este producto se debe producir sin utilizar ningún tipo de colorante y bajo condiciones inocuas, entre mayor sea la concentración de sólidos en la caña mayor será el porcentaje de grados Brix en el jarabe. El jarabe producido en la región de los Ríos de Tabasco, se encuentra por debajo de esta concentración, por lo que se recomienda incrementar este valor.

En un estudio realizado en panelas producidas en trapiches de Veracruz, México, la evaluación microbiológica de coliformes totales demostró que cinco de los siete trapiches analizados exhibieron de 1 a 9 UFC/g. Al no existir una norma nacional e internacional que determine el límite permisible de estos microorganismos, se realizó la comparación con la producción de azúcar en la NMX-F-084-2003, la cual establece como límite máximo 20 UFC/g. La producción del 100 % de los trapiches se encuentra dentro de este límite. Sin embargo, la presencia de coliformes totales indica prácticas sanitarias inadecuadas en la elaboración de panela, nula higiene en el equipo o durante el almacenamiento (Galicia Romero *et al.*, 2017).

De acuerdo con Servín y colaboradores (2018), en un estudio realizado en paneleros de Veracruz, se encontró que la calidad en el producto es vital para la imagen de los mismos; no obstante, desafortunadamente solo el 3 % del total de trapiches cuenta con procesos que vigilan la inocuidad del piloncillo, mientras que el 97 % los produce de manera tradicional sin respetar las normas de higiene y de calidad del producto.

El mercado de los edulcorantes en el país ha sufrido cambios importantes, es notable la creciente demanda y utilización del jarabe de maíz de alta fructuosa, como también edulcorantes en calorías. Ahora los jarabes de maíz y los edulcorantes de alta intensidad, como los que contiene aspartame están desplazando al azúcar en un segmento importante del mercado (García, 2011).

Es importante señalar que hasta mediados de los años 90, el azúcar fue el principal edulcorante usado por la industria; sin embargo, con la puesta en marcha del TLCAN, se detonó el consumo de jarabes de maíz de alta fructuosa, puesto que el mercado nacional no pudo competir ante costos de producción más bajos de lo habitual (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar [CONADESUCA], 2016).

De acuerdo con el Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá, INCAP (2021), El propósito de la evaluación sensorial es medir las propiedades sensoriales y determinar la importancia de estas, con el fin de predecir la aceptabilidad del consumidor, con lo cual brinda a la industria la oportunidad de aprovechar y aplicar estas mediciones. El carecer de esta evaluación podría condicionar el fracaso de los avances e innovaciones que se producen en la tecnología de alimentos. Es clásico el ejemplo de un producto elaborado para una determinada comunidad, perfectamente equilibrado desde el punto de vista nutritivo, que es rechazado por sus potenciales consumidores porque no les gusta su sabor, su color o su textura.

La evaluación sensorial del jarabe de caña de azúcar estableció una alta aceptación para este producto, igual a la obtenida por la miel y el jarabe de maple, y muy por arriba del jarabe de maíz comercial. Por otra parte, las propiedades físicas son las adecuadas para comercializar el producto; solo se recomienda incrementar la concentración de azúcares, lo que tendría como consecuencia mejorar su conservación.

En cuanto a la calidad microbiológica, los microorganismos indicadores evaluados se encontraron por debajo de los límites permitidos para miel de abejas, también de procedencia artesanal. La miel de caña de azúcar es una opción para la diversificación de la caña de azúcar, innovando en los usos de este producto y pudiendo llegar a competir con el mercado de la miel de abejas y miel de maíz.

## Bibliografía

Aguilar, N., Galindo, G., Fortanelli, J. y Contreras, C. (2011). Factores de competitividad de la agroindustria de la caña de azúcar en México. *Región y Sociedad*. 52(2). <http://www.scielo.org.mx/pdf/regsoc/v23n52/v23n52a9.pdf>

Anzaldúa, A. (1994). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. Editorial Acribia.

Baca, J., Cuevas, V., Rosales, C. y Rivera, G. (2018). Producción y comercialización de piloncillo: caso de la comunidad de Aldzulup Poytzen, San Luis Potosí. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9(2), 381-390. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v9n2/2007-0934-remexca-9-02-381.pdf>

Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (CONADESUCA). (2016). *Melazas de caña de azúcar y su uso en la fabricación de dietas para ganado*. Universidad Autónoma Chapingo, Delegación Cuauhtémoc, México.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (s/f). *Sugarcane syrup*. <http://www.fao.org/3/au155e/au155e.pdf>

Fócil, J. (2019). Propositiones de Ciudadanos Legisladores. *Gaceta del Senado*. [https://www.senado.gob.mx/64/gaceta\\_del\\_senado/documento/95652](https://www.senado.gob.mx/64/gaceta_del_senado/documento/95652)

Galicia Romero, M., Hernández Cázares, A., Omaña Silvestre, J., Velasco Velasco, J., Debernardi, H. e Hidalgo Contreras, J. (2017). Ventaja comparativa y competitiva de la producción de panela en la región de Huatusco, Veracruz, México. *Agroproductividad* 10(11), 29-34. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/69/65>

García, L. (2011). *Análisis del mercado de los edulcorantes en México*, Universidad Autónoma Chapingo, CONADESUCA, México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/118789/AN\\_LISIS-MERCADO-EDULCORANTES-M\\_XICOactualizado\\_sep2011\\_para\\_publicar.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/118789/AN_LISIS-MERCADO-EDULCORANTES-M_XICOactualizado_sep2011_para_publicar.pdf)

García Almeida, J., Casado, F., Gracia, M., y García Alemán, J. (2013). Una visión global y actual de los edulcorantes: aspectos de regulación. *Nutrición Hospitalaria*, 28 (Supl. 4), 17-31. <https://scielo.isciii.es/pdf/nh/v28s4/03articulo03.pdf>

Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP). (2021). *Análisis Sensorial para control de calidad de los alimentos*. <http://www.incap.int/index.php/es/noticias/201-analisis-sensorial-para-control-de-calidad-de-los-alimentos>

- Montenegro, J. (2002). *Desarrollo de cubitos de raspadura de panela como edulcorante de mesa*, Proyecto especial del Programa de Ingeniero en Agroindustria, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2340/1/AGI-2002-T029.pdf>
- Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994. (1995). *Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa*. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/092ssa14.html>
- Norma Oficial Mexicana NOM-111-SSA1-1994. (1995). *Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos*. <http://www.economia-noms.gob.mx/normas/noms/1995/111-ssa1.pdf>
- Norma Oficial Mexicana NOM-113-SSA1-1994. (1995). *Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa*. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/113ssa14.html>
- Norma Oficial Mexicana NOM-115-SSA1-1994. (1995). *Bienes y servicios. Método para la determinación de Staphylococcus aureus en alimentos*. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/115ssa14.html>
- Palma López, D., Salgado, S., Obrador, J., Trujillo, A., Lagunes, L., Zavala, J., Ruiz, A. y Carrera, M. (2002). Sistema integrado para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar (SIRDF). *Terra Latinoamericana*, 20, 347-358. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57320314.pdf>
- Pérez Sánchez, S. (2017). Agroindustria de la caña de azúcar en Veracruz: Análisis del deterioro productivo. En F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez y R. Salazar (Eds.), *Ciencias de la Economía y Agronomía. Handbook T-I* (pp. 27-40), Universidad Autónoma Chapingo. [http://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencias%20de%20la%20Economía%20y%20Agronomía%20T-I/HCEA\\_TI\\_3.pdf](http://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencias%20de%20la%20Economía%20y%20Agronomía%20T-I/HCEA_TI_3.pdf)
- Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-004-SAG/GAN-2018. (2018). *Producción de miel y especificaciones*. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5546962&fecha=20/12/2018](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5546962&fecha=20/12/2018)
- Sentías, H., (2013). *Variabilidad genética y caracterización de variedades de caña de azúcar (Saccharum spp.)* [Tesis de Maestría], Colegio de Postgraduados. <https://www.repositorionacionalcti.mx/recurso/oai:colposdigital.colpos.mx:10521/2188>
- Servín, R., Cruz, C., Contreras, J., Calderón, G., y Ramos, A. (2018). Factores críticos en la administración de trapiches de la región de Huatusco, Veracruz. *Revista Mexicana de Agronegocios* 42(3), 919-928. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/141/14156175011/14156175011.pdf>
- Solís Fuentes, J., Calleja Zurita, K. y Durán de Bazúa, M. (2010). Desarrollo de jarabes fructosados de caña de azúcar a partir del guarapo. *Ciencia y Tecnología*, 25(1), 53-62. <https://www.redalyc.org/pdf/482/48215094007.pdf>
- Yanes, M. (1985). *Manual de Procedimientos Químicos Analíticos. Ciencia Agropecuarias*, Gobierno del estado de Tabasco, Secretaría de Educación, Cultura y Recreación, Dirección de Educación Superior e Investigación Científica, Centro de Investigación y Enseñanza en Ecosistemas tropicales. Emiliano Zapata.

## ¿Cómo ha influido la pandemia de coronavirus en el Medio ambiente?

Ma. del Carmen Arias Valencia  
Marcela Patricia del Toro Valencia  
José Manuel Tovar Herrera

### Introducción

La ya bastante conocida pandemia global causada por la propagación del coronavirus SARS-CoV-2, causante de la enfermedad COVID-19, fue un fenómeno que ocasionó un sentido de obligación por parte de los gobiernos de cada país para tomar medidas para combatir, o más bien mitigar, los contagios masivos en su población y evitar una propagación mayor.

Entre las acciones que se implementaron y que han fungido como un común denominador para casi todos los países del mundo, fueron el aislamiento social —o físico— preventivo y obligatorio, la paralización parcial de las actividades industriales no prioritarias, así como restricciones en la circulación del transporte terrestre y aéreo, el cierre de fronteras y la suspensión de jornadas laborales y educativas. Como era de esperarse, este conjunto de acciones derivó en una serie de consecuencias en todos los aspectos en los que el ser humano se desenvuelve, desde lo económico, político y social, hasta lo cultural y medioambiental, generando una situación global distinta a la conocida previamente.

Derivado de las acciones que se han implementado desde marzo, mes en el que la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró pandemia global la propagación del coronavirus, se notó una disminución en las actividades que la población mundial realizaba de manera «normal», y a raíz de eso, se notaron cambios no solo en la manera de relacionarse como sociedad, sino en la forma en la que el ser humano interactúa con la naturaleza y el planeta. Fenómenos como la disminución de gases de efecto invernadero, la mejora en la calidad del agua y la baja en la contaminación acústica, son algunos de los fenómenos que han derivado de las medidas adoptadas por los países como parte de la prevención de la propagación del coronavirus.

### Método

Este artículo reflexiona sobre el impacto positivo y negativo de la pandemia de COVID-19 en el medio ambiente. La finalidad es observar y analizar las acciones que el ser humano ha realizado para disminuir o incrementar el impacto en el planeta desde el punto de vista ecológico. Para lograr el objetivo, se recurrió a la revisión bibliohemerográfica de carácter académico y especializado que aborda la temática y que se encuentra disponible en los repositorios digitales.

## Impactos positivos en el medio ambiente

A lo largo del periodo de aislamiento derivado de la pandemia se registraron diversos acontecimientos que indicaban aspectos de mejoría en el medio ambiente. Entre ellos pueden enlistarse la calidad del aire y del agua, la reducción de emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), la disminución de la utilización de combustibles fósiles, una reducción en la contaminación acústica y avistamientos de animales en ciudades donde la actividad humana disminuyó en buen grado, entre otros (Parra, 2020).

En lo referente a la disminución en las emisiones de  $\text{NO}_2$ , gas nocivo emitido por motores de vehículos, plantas de energía y complejos industriales (Parra, 2020), se puede mencionar que tanto la NASA como la Agencia Espacial Europea (ESA) revelaron material fotográfico en el que es visible un drástico descenso de la contaminación por el mencionado gas, específicamente en China. Aunado a ello, se analizó una disminución del 44 % en los niveles de contaminación atmosférica durante el primer mes de aislamiento en Wuhan, ciudad en la que se originó el coronavirus (Parra, 2020). En la Figura 1 se muestran las imágenes en donde se puede apreciar la mejoría en las emisiones de  $\text{NO}_2$  en la región de China.

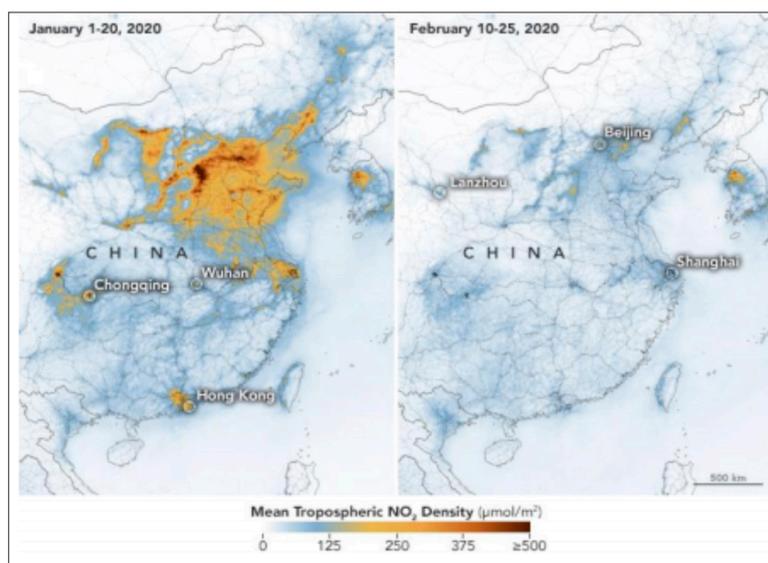


Figura 1. Emisiones de  $\text{NO}_2$  en China antes y durante el aislamiento (Parra Pedraza, 2020).

Parra menciona que en la gran mayoría de los países en los que se tomaron medidas de distanciamiento físico o aislamiento significativo se observaron situaciones similares. Por ejemplo, en la ciudad de Los Ángeles la concentración de partículas suspendidas se redujo en un 51 %, en Lima y Bogotá la concentración de  $\text{NO}_2$  descendieron un 60 %, en Río de Janeiro y la Ciudad de México la disminución fue de un 40 %. Se menciona que la variación en las estadísticas porcen-

tuales se debe a que las medidas adoptadas fueron distintas, más o menos estrictas, en las regiones que se mencionan.

Otro de los gases en los que se ha observado una reducción relevante y que también es abordado dentro de la investigación de Parra es la emisión de CO<sub>2</sub>, el cual es considerado uno de los gases de efecto invernadero (GEI's). La reducción se debe al cese parcial de actividades en los complejos industriales de los países y también a la reducción de tráfico aéreo y terrestre. Se puede observar que, de manera indirecta, el cierre de fronteras de los países coadyuvó a la disminución de CO<sub>2</sub> en el mundo por la cancelación de vuelos domésticos e internacionales en todo el mundo.

En el mismo sentido, las emisiones que provienen de los aviones en vuelos internacionales representan aproximadamente el 3 % del total de CO<sub>2</sub> emitido por las actividades humanas en el planeta, es decir, que una reducción total de los vuelos internacionales no impactaría de manera significativa en las emisiones totales de dicho gas (Agencia Europea del Medio Ambiente [EEA, por sus siglas en inglés], 2019). Lo anterior provoca la reflexión de que una reducción significativa en las emisiones no solo es consecuencia de la cancelación de vuelos internacionales, sino que el factor del transporte terrestre toma una mayor relevancia. A propósito de ello, en la Figura 2 se puede apreciar que el promedio de embotellamientos en tráfico terrestre en ciudades como Berlín, Londres, Nueva York, Milán, Shanghái o París, disminuyeron en un 50 % respecto al 2019.



Figura 2. Comparación del promedio de embotellamientos diarios en tráfico terrestre del 2019 y 2020 (Parra Pedraza, 2020).

Siguiendo el mismo orden de ideas, la congestión vehicular en países latinoamericanos como Brasil, México, Perú y Ecuador se redujo entre un 72 % y 90 % (Banco Interamericano de Desarrollo,

llo, 2020). Según la misma fuente, Lima es la ciudad con mayor caída en la movilidad vehicular de la región, pues registró una disminución del 90 % del 9 de marzo al 3 de mayo del 2020 (Gráfico 1).

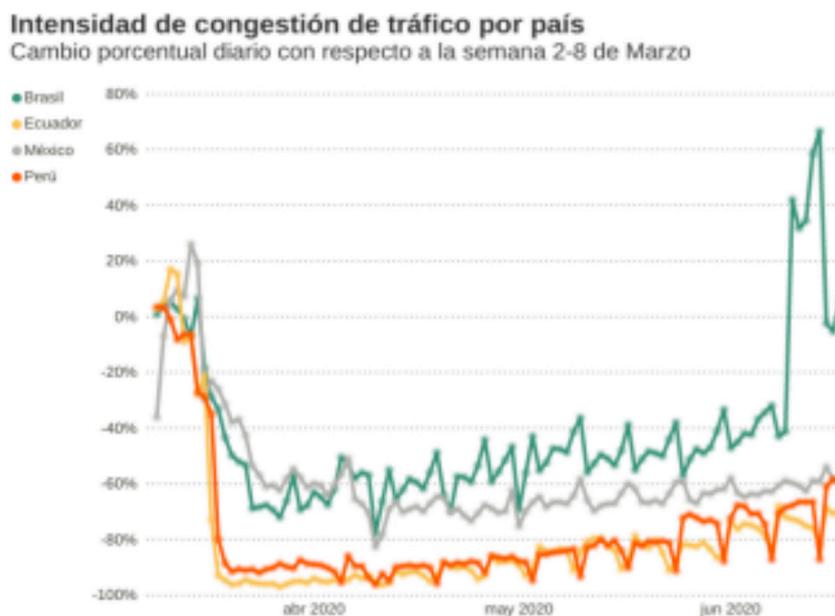


Gráfico 1. Variación en la densidad de circulación vehicular en algunas ciudades de América Latina (Parra Pedraza, 2020).

Lo que se observa de las ilustraciones anteriores, es que las mayores disminuciones en la emisión de gases, en específico de  $\text{NO}_2$  y  $\text{CO}_2$ , así como la reducción en la circulación de vehículos, es que el impacto más relevante se registró durante los primeros meses en los que el aislamiento fue instaurado de la forma más estricta y, por ende, más eficiente. Pero, uno de los elementos que cabe destacar es que conforme pasaban las semanas y las medidas impuestas por los gobiernos se volvían menos estrictas, la congestión de vehículos y las emisiones de gases fueron incrementando. Un ejemplo es el particular caso de Brasil, el cual registró una reducción del 80 % en tráfico de vehículos en el mes de abril, pero en el mes de junio se registró un incremento del 6 % respecto a marzo, mes en el que aún no se instauraban las medidas de aislamiento (Parra, 2020).

Casos similares son los de Ecuador, México y Perú que registraron reducciones significativas, pero conforme pasaron los meses dicha reducción no se mantuvo constante. El análisis de las emisiones de  $\text{CO}_2$  tiene un comportamiento similar en el que al inicio del periodo de aislamiento se redujeron un 17 % en los primeros días de abril del 2020, y que llegaron a reducirse un 26 % en su máximo (Parra, 2020) (Figura 3).

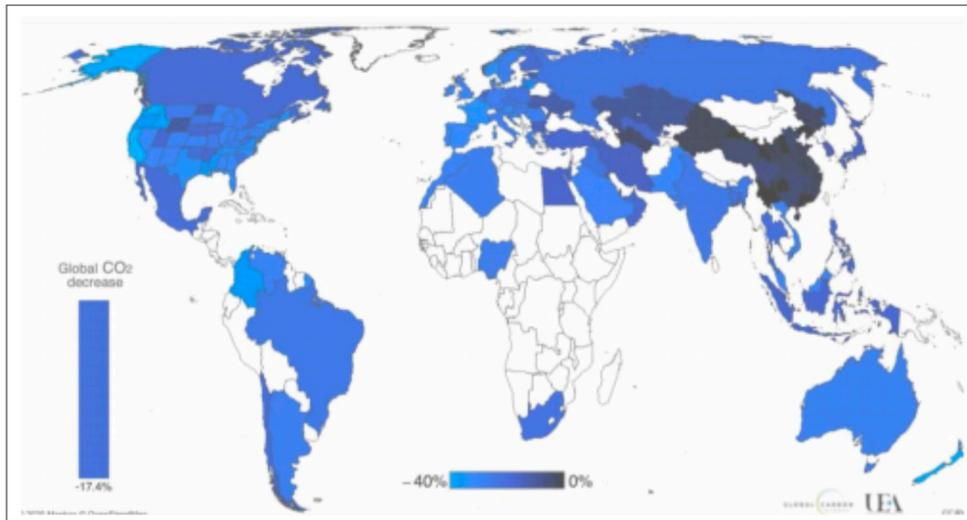


Figura 3. Emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo durante el aislamiento obligatorio en abril, periodo en el que se registra la mayor reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> (Parra Pedraza, 2020).

Sin embargo, las medidas de confinamiento fueron flexibilizándose con el transcurso del tiempo, lo que derivó en un incremento gradual en todos los elementos en los que se registró una disminución significativa, todo esto derivado de retomar poco a poco actividades que se habían detenido por el aislamiento (Figura 4).

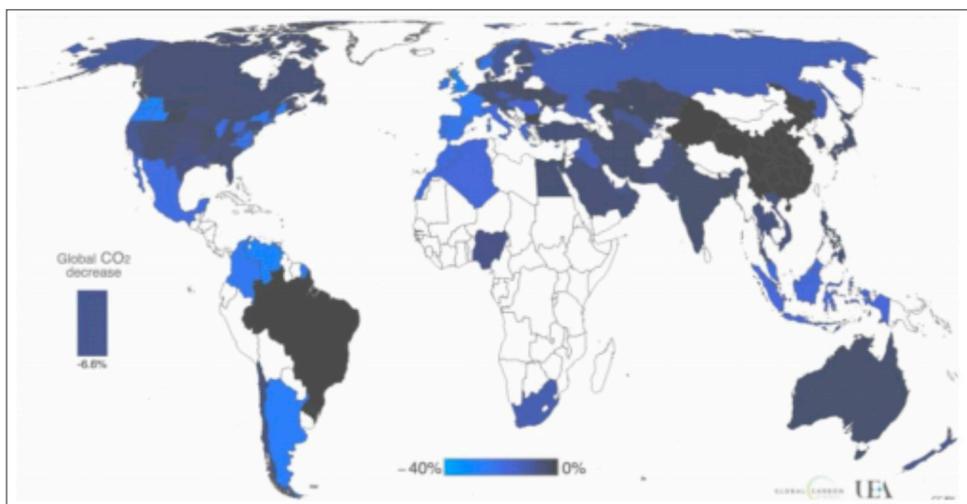


Figura 4. Emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo durante el aislamiento obligatorio en mayo (Parra Pedraza, 2020).

Derivado del mismo aislamiento, parcial o total y obligatorio, se observó una disminución en cuanto a la cantidad de contaminación acústica o de ruido. Por ejemplo, en Quito, el nivel de ruido durante este periodo se registró entre 45 y 50 decibeles; mientras que en los días normales alcanzaban los 75 decibeles. Cabe mencionar que como los demás valores y reducciones, es probable que sea una mejoría temporal.

## Principales contaminantes del aire

Los elementos que se estudian en la investigación son las partículas en suspensión (PM, por sus siglas en inglés), NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, ozono (O<sub>3</sub>) y el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), gases que influyen en la calidad del aire y en los niveles de contaminación en el mundo, además del NO<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> que ya se han abordado. En cuanto al SO<sub>2</sub>, se puede decir que es un gas de origen, en su mayoría, antropogénico que se produce durante la combustión de carburantes fósiles que contienen azufre (petróleo, combustibles sólidos), llevada a cabo sobre todo en los procesos industriales de alta temperatura y de generación eléctrica (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [MITECO], 2020).

El principal emisor de SO<sub>2</sub> es el sector industrial, con lo cual la distribución temporal de los niveles de este gas suele venir determinada por los periodos en los que la industria emisora que afecta a la estación está en funcionamiento (MITECO, 2020). Es por ello por lo que el estudio en las emisiones de SO<sub>2</sub> se ve afectado durante la parálisis de actividades industriales en España, para este caso, pero que también aplica para el resto de los países del mundo, principalmente aquellas naciones que cuentan con un mayor número de plantas industriales.

En cuanto a las PM, puede mencionarse que la contaminación atmosférica por material particulado es entendida como la alteración de la composición natural de la atmósfera como consecuencia de la entrada en suspensión de partículas, ya sea por causas naturales o por la acción del hombre. Los efectos de la contaminación por material particulado han sido demostrados en diferentes ámbitos, entre los cuales destacan la salud humana, el clima y los ecosistemas (MITECO, 2020).

Uno de los elementos que toman mayor importancia en el análisis de las PM es el tamaño, ya que se considera como el principal factor limitante para la mayor o menor penetración en las vías respiratorias. Por ello, las redes de control llevan a cabo la determinación de aquellas partículas de menos de 10 µm de diámetro, denominadas PM10, que son las que presentan una mayor capacidad de acceso a las vías respiratorias y, por lo tanto, mayor afección a las mismas (MITECO, 2020).

Por último, el O<sub>3</sub> o comúnmente conocido como ozono, es un compuesto que tiene una particular ambivalencia para los seres vivos del planeta, ya que es conocido que el ozono tiene el papel fundamental de proteger al planeta de los rayos UV, pero esto se da hasta cierta altura o nivel atmosférico, pero si se tiene este compuesto por debajo de la zona positiva, por así decirlo, los efectos que tiene sobre la salud respiratoria del hombre, entre otros efectos hacia la naturaleza, son nocivos (Briz Redóna *et al.*, 2020).

## Contaminación del aire

Aunado a lo anterior, un estudio realizado en diversas ciudades de España arroja resultados positivos similares derivados del confinamiento obligado. El gobierno español fue uno de los primeros

en declarar la situación de aislamiento, instaurando las jornadas laborales desde casa cuando fuera posible, restricciones de viaje, cuarentena y confinamiento, cancelación de eventos en masa, educación a distancia, cierre de restaurantes y bares, entre otros. Solo las industrias de productos esenciales, como farmacias y supermercados fueron permitidos (Briz Redóna *et al.*, 2020).

El periodo de mayor confinamiento, en el caso de España, se dio desde el 15 de marzo hasta el 13 de abril, en el cual solo las actividades esenciales fueron permitidas, siendo uno de los países en tener medidas más estrictas en lo referente a la prevención de propagación del coronavirus. Por lo anterior, el estudio de las ciudades españolas en cuanto a las problemáticas medioambientales que se abordan en el presente artículo, sirve de guía para revisar el impacto del cese de actividades sociales en la ecología del mundo.

El objetivo de este estudio fue analizar los cambios en la calidad del aire derivados de este periodo de confinamiento utilizando las variables estadísticas del dióxido de azufre, el dióxido de carbono, las PM10, el ozono y el dióxido de nitrógeno, elementos cuya relevancia para la contaminación y salud de la naturaleza han sido ya mencionados en este artículo.

En primera instancia, la complejidad estadística del estudio permite la comparación del estado de contaminación en las ciudades que se han tomado como muestra y que se mencionan en adelante, entre ellas Madrid, Barcelona, Sevilla, Valencia, Santander y Bilbao con fechas anteriores al periodo de confinamiento.

Los resultados arrojan una reducción de NO<sub>2</sub> significativo durante el confinamiento, principalmente en las ciudades más contaminadas de España: Madrid, Barcelona y Sevilla (Briz Redóna *et al.*, 2020). Sin embargo, Santander no tuvo cambios relevantes respecto a las emisiones de NO<sub>2</sub> en el periodo anterior y posterior al aislamiento obligado. Asimismo, las diferencias notadas en las demás ciudades no son estadísticamente relevantes. Solo Bilbao, ciudad caracterizada por su relevancia industrial, mostró cambios importantes y diferentes respecto a fechas anteriores.

El mismo estudio revela que en cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub> y CO durante la parálisis de actividades antropogénicas no fue significativo en la mayoría de las ciudades analizadas. Esto se atribuye a que los periodos de confinamiento no fueron lo suficientemente largos para lograr una reducción significativa y sostenible de la contaminación del aire, si bien existen diferencias respecto a las fechas, como se ha mencionado antes, el efecto de estas es temporal, con probabilidades de regresar a la «normalidad» una vez que el ser humano retome las actividades acostumbradas.

## ¿Un respiro al planeta?

A pesar de los estudios mencionados y de la verdadera relevancia para el medio ambiente y bienestar del planeta, puede observarse, en mucha de la literatura no académica disponible, que existe la firme creencia de que el confinamiento ayudó a mejorar la calidad del aire y del agua y a reducir drásticamente los niveles de contaminación que se venían dando desde hace ya varias décadas.

El ser humano no pone en duda su efecto negativo en la preservación de los ecosistemas, desde factores como cautiverio de animales, deforestación, polución y emisión de GEI's. Parte de este conocimiento, desde la perspectiva propia, es tener la esperanza de que algunas acciones originadas en el núcleo social también tienen efectos positivos sobre la misma problemática. Esta esperanza puede observarse como el origen de las creencias existentes respecto a la mejora en el daño ocasionado en el medio ambiente durante el periodo de aislamiento de las naciones del mundo.

Otro elemento que alimenta esta percepción, además de la necesidad del ser humano de sentirse menos nocivo, es que se han percibido fenómenos diferentes en lo que respecta al cuidado del medio, por ejemplo, los canales de Venecia se observaron cristalinos por la ausencia de barcos y turistas y, además, hubo avistamientos de patos y peces en los mencionados canales. Otros ejemplos son los ciervos en Nara, Japón, que no se ven con frecuencia, la aparición de pumas en Chile o de cabras en el Reino Unido.

Estos fenómenos sirvieron para elevar y masificar la percepción de que, a falta del ser humano, la naturaleza reconquista el territorio; el medio ambiente comienza a regenerarse o a tomar fuerza de nuevo, lo cual se considera como un aspecto positivo, pues lo que es innegable es que se crea conciencia de las actividades antropogénicas y la manera en que afectan el medio y la ecología del planeta.

Esta reflexión es la que alimenta la mayoría de la literatura disponible en los repositorios digitales, el común denominador es que las actividades del ser humano son la causa de la degradación del medio, y de esa causa se originan diversas consecuencias y ámbitos de estudio: desde la fauna y flora hasta la contaminación de elementos como el aire, agua y suelo. De todo esto, lo que se rescata son las investigaciones que buscan estudiar y rastrear las actividades de los hombres y su relación con el entorno, a saber, que la deforestación y algunas otras prácticas agrícolas contribuyen en un 20 % en las emisiones de CO<sub>2</sub> (Estévez y Domínguez, 2020) en comparación con los datos aquí vertidos en los que se menciona que solo el 3 % de las emisiones proviene de los vuelos internacionales.

Esto ayuda a reflexionar no solo con respecto a las actividades, sino de las percepciones, porque se suele pensar que la contaminación es mayormente afectada por el transporte aéreo y no por las prácticas agrícolas, cuando es al revés. Estos análisis, si bien no contribuyen de manera directa en cuanto al objetivo de este artículo *per se*, sí permiten contextualizar al ser humano en la posición de agente nocivo para el medio, lo que se traduce en que cualquier afectación o variación en sus actividades tendrá un efecto significativo en el comportamiento de todos los elementos que son afectados por lo antropogénico. Es decir, cualquier variación en la actividad humana resultará en una anomalía en los elementos que aquí se estudian, tales como, mejoras en las calidades del aire, agua y suelo, reducción en la emisión de gases, observación de especies de animales silvestres en «territorios humanos», y todo lo que ya se ha mencionado.

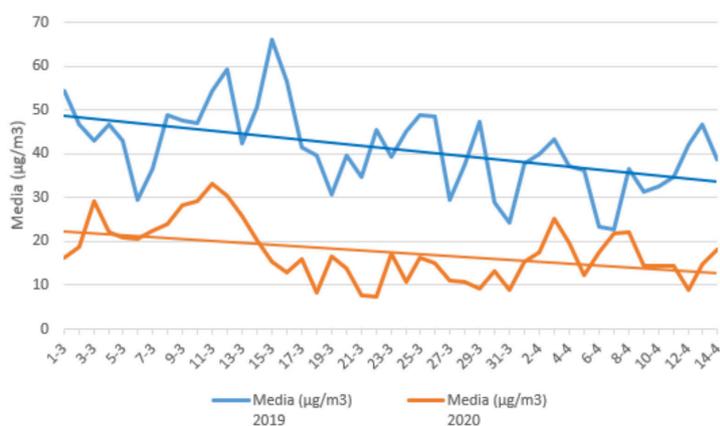
En el mismo sentido, Estévez y Domínguez (2020) realizan la crítica al modelo económico, tildándolo de ineficiente, derrochador e intensivo en emisiones, y resaltan la necesidad de un cambio, de una transición a una economía distinta y circular, haciendo hincapié en que los recursos utilizados sean renovables y no agotables, que se reúse y recicle en lugar de tirar y contaminar.

## Datos estadísticos globales

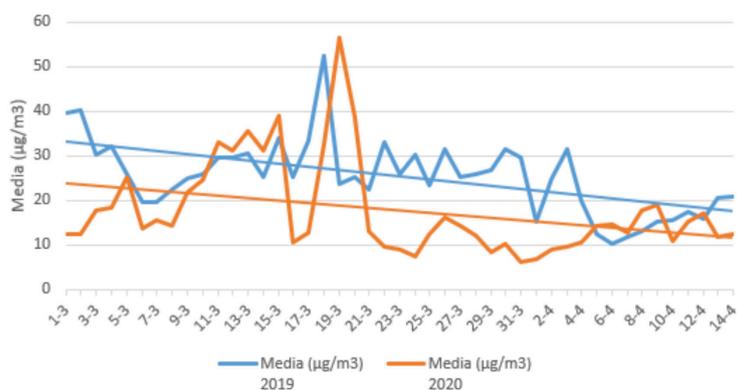
La EEA también se ha encargado de arrojar datos estadísticos que nutren esta investigación, casi todos, y en general en toda la bibliografía revisada, se enfocan en las emisiones de gases como NO<sub>2</sub> y percepción de contaminantes aéreos con tomas satelitales. Esta agencia, que se ha enfocado principalmente en monitorear el territorio europeo, menciona que debido a la reducción de tráfico vehicular, las emisiones de NO<sub>2</sub> han disminuido hasta un 50 % en algunas ciudades. Por ejemplo, en Milán, las concentraciones de NO<sub>2</sub> fueron 24 % más bajas que en el mismo periodo (marzo-abril) de 2019. En Bérgamo, en el mismo periodo, se produjo un decremento de 47 % respecto al año

anterior. En Roma, entre el 26 y 35 % por debajo de 2019. Mientras que en Barcelona se tuvo una reducción de 40 y 55 %, en Madrid del 56 % y en Lisboa del 51 % (EEA, 2020).

Es importante conocer estos datos, porque independientemente de la pandemia por coronavirus y su rápida propagación, la contaminación aérea es una problemática que también ocasiona efectos nocivos en la calidad de vida de las personas. Según la OMS, 4.6 millones de personas mueren anualmente como consecuencia de la contaminación ambiental, en específico del aire (Pérez Aragón y Lacasaña, 2020). La disminución de las emisiones de NO<sub>2</sub> en España se ilustra en las Gráficas 2 y 3.



Gráfica 2. Concentraciones de NO<sub>2</sub> en España (1 marzo a 14 de abril, 2019 y 2020) (Pérez Aragón y Lacasaña, 2020).



Gráfica 3. Concentraciones de PM<sub>10</sub> en España (1 marzo a 14 de abril, 2019 y 2020) (Pérez Aragón y Lacasaña, 2020).

Según las autoras, el medio ambiente ha logrado ser un «gran beneficiario de la pandemia» (Pérez Aragón y Lacasaña, 2020). De igual forma, menciona otro estudio realizado en la India, desde el decreto gubernamental de aislamiento obligatorio (22 de marzo de 2020), manteniendo vehículos en resguardo, cancelando vuelos comerciales, cerrando industrias y regulando la circulación de personas, la República de India, observó una mejora notable en la calidad de su aire. Cabe mencionar que este país se encuentra dentro de los cinco mayores emisores globales de GEI's, teniendo un territorio conformado por 21 de las 30 ciudades con peores índices de contaminación en el mundo (Fouquet, 2020). En este caso particular, la reducción en la emisión de los GEI's fue del 40 %, registrada por organismos nacionales creados en el siglo pasado y que están en constante monitoreo de la calidad del aire y contaminantes en este territorio.

Se menciona que, por primera vez en muchos años, se pudieron observar los picos de las famosas cumbres del Himalaya desde territorio indio, esto no pasaba desde hacía décadas, debido a la cantidad de smog que abunda en el país. Asimismo, se menciona en la investigación de Fouquet que en las playas de la India se observaron más de 70,000 tortugas marinas Olive Ridley, especie en peligro de extinción que llega anualmente a esas playas, y cuyo proceso se había interrumpido por la gran cantidad de turistas que vacacionan en ese lugar; desde 2013 no se veía nada parecido.

### **Impactos negativos**

También es importante mencionar que las acciones y medidas sanitarias tomadas por los gobiernos alrededor del mundo no solo lograron mejorar la calidad ambiental en cierto grado, sino que también hubo efectos negativos, ya que los residuos hospitalarios y domésticos se incrementaron en gran cantidad. Por ejemplo, en Wuhan, la ciudad origen, la generación de residuos se cuadruplicó, produciendo 240 toneladas diarias durante el primer mes de aislamiento (Parra, 2020), cuando antes se generaban 50 toneladas diarias de desechos médicos. En Quito sucedió algo similar, incrementando los desechos en más 600 toneladas, sobre todo debido a la demanda de consumo a domicilio que genera bolsas de plástico y empaques desechables.

Parra también describe como efecto negativo la incapacidad de tener reuniones mundiales o cumbres que aborden temáticas de biodiversidad, contaminación y cambio climático, por ejemplo, China decidió postergar las políticas de reducción de emisiones y extendió los plazos para que las empresas puedan cumplir con las normas ambientales; mientras que en Estados Unidos no se sancionará a las empresas que incumplan normas similares. Si bien esto puede ser considerado un efecto negativo, la presente investigación contempla de manera más prioritaria la acumulación de basura, por ejemplo, la cantidad de cubrebocas que contaminan los suelos y el agua de los países alrededor del mundo. Esto da pauta a que, aunque a la mayoría de las personas les gusta pensar que el impacto del aislamiento fue significativo para la mejora del medio ambiente, también hay efectos que son nocivos para el planeta dentro de la misma acción de confinamiento.

La reflexión es que la recuperación de la naturaleza, la mejora de la calidad de los elementos, entre todas las demás variables positivas que se han estudiado en la presente investigación, no es tan real como se quiere hacer creer, tanto en la literatura académica como en la no académica, así como en los medios de comunicación, ya que, aunque sí es una realidad la mejora por la ausencia humana, en un efecto de rebote, actividad regresará a la normalidad en algún punto en el futuro próximo (Marín, 2020).

## Conclusiones

En datos duros y estadísticos, el mundo experimentó una mejora notable en la calidad de sus ecosistemas, hubo reducciones en las emisiones de GEI's, de otros contaminantes, el agua se aclaró y el aire se limpió, pero a pesar de todo ello y de que se registró una mejor calidad de los elementos, estas disminuciones derivadas de la ausencia del ser humano en actividades sociales, laborales e industriales normales, son pequeñas en comparación con lo acumulado por décadas. La reducción no es notable si se compara con el histórico de emisiones desde hace 50 años, por lo que la mejora, a pesar de ser real, es temporal y estadísticamente falaz.

El confinamiento no ha durado lo suficiente como para revertir el efecto antropogénico acumulado, por lo que las mejoras tenderán a reducirse conforme avancen los meses o los años. Lo que sí es real, es la reflexión que se está haciendo al respecto, y si bien las cumbres climáticas no han logrado un avance significativo hasta ahora, la población mundial que reflexiona sobre estas temáticas aumentó a causa del aislamiento y de la masificación de información que se dio sobre las mejoras por la ausencia de las personas en el medio.

Lo que se busca decir es que la ausencia humana es notable porque su presencia es de la misma magnitud, pero en lo nocivo, por ello, cuando el ser humano «desaparece», todo lo nocivo que puede ser también disminuye. La búsqueda de una economía sostenible ha comenzado a raíz de esta coyuntura de coronavirus y confinamiento social, existe abundancia de literatura que aborda estas temáticas, mucha de ella inédita, pues el fenómeno que se ha experimentado desde marzo al tiempo que se escribe este artículo, no había sido experimentado antes.

## Bibliografía

- Agencia Europea del Medio Ambiente. (2019). Emisiones de aviones y barcos: datos y cifras. Parlamento Europeo.
- Agencia Europea del Medio Ambiente. (2020). Air pollution goes down as Europe takes hard measures to combat coronavirus. European Environment Agency.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2020). *Tablero de Impacto de Coronavirus*. <https://www.iadb.org/es/topics-effectiveness-improving-lives/coronavirus-impact-dashboard>
- Briz Redóna, A., Belenguer Sapiña, C. y Serrano Aroca, A. (2020). Changes in air pollution during COVID-19 lockdown in Spain: A multi-city study. *Journal of Environmental Sciences*.
- Estévez, R., y Justo Domínguez, J. (2020). *Coronavirus: una oportunidad para el medioambiente*, Universidad Nacional de Cuyo.
- Fouquet, A. (2020). Coronavirus en India: efectos medioambientales del aislamiento obligatorio. *Grupo de Estudios sobre India y el Sudeste Asiático de Rosario*.
- Marín Velásquez, T. (2020). La recuperación de la naturaleza por el aislamiento social debido al Covid-19 ¿Realidad o ficción? *Journal of the Selva Andina Research Society*, 11(2), 60-61. <https://doi.org/10.36610/j.jsars.2020.110200060>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Dióxido de azufre*. (2020). <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/dioxido-azufre.aspx>

Parra Pedraza, M. (2020). COVID-19 ¿Un alivio temporal para el ambiente? *CienciAmérica*, 9(2). <http://dx.doi.org/10.33210/ca.v9i2.318>

Pérez Aragón, A. y Lacasaña, M. (2020). *Efecto de la pandemia de COVID-19 en la calidad del aire: Impacto en la salud respiratoria*. Escuela Andaluza de Salud Pública. <https://www.easp.es/web/coronavirusysaludpublica/efecto-de-la-pandemia-de-covid-19-en-la-calidad-del-aire-impacto-en-la-salud-respiratoria/>

## **II. Zootecnia y Acuicultura**

## **Impacto del estrés ambiental en la calidad microbiológica de la leche del ganado bovino**

Ángel Raúl Cruz Hernández  
Rodolfo Lucio Domínguez  
José Luis Carlos Bedolla Cedeño

En México, los sistemas campesinos aportan alrededor de 30 % de la producción de leche, mientras que el número de vacas en este sistema es de 1,470,000 aproximadamente, distribuidas en más de 100 mil unidades productivas (Fuentes y Ruiz, 2013).

En la localidad de La Presa, municipio de Morelia en el estado de Michoacán, hay dudas con respecto a la calidad de la leche que se produce, por tal razón se hizo el estudio microbiológico. Es un lugar con explotaciones a pequeña escala que no sobrepasa las 20 cabezas de ganado lechero, no cuenta con las instalaciones ni con la capacitación a los productores de la zona.

La calidad de la leche puede separarse en dos grandes referentes: el composicional y el higiénico-sanitario (microbiológica). En el primer caso, se refiere a los requisitos de «composición fisicoquímica» que debe cumplir la leche y se evalúa mediante la medición del contenido de sólidos totales, grasa y proteína, parámetros que determinan su valor nutricional y su aptitud como materia prima para el procesamiento de derivados lácteos (Martínez *et al.*, 2013). Mientras que la calidad microbiológica se refiere a la presencia de bacterias, al conteo alto de estas y de células somáticas que producen alteraciones en las propiedades nutritivas y organolépticas de la leche que reducen la vida útil de los productos lácteos. El manejo inadecuado durante la ordeña, almacenamiento y transporte de la leche puede deteriorar su calidad aumentando la carga bacteriana al adulterarse la composición, y siendo las vacas enfermas la fuente de contaminación más importante (Ronquillo y Bautista, 2014; García, 2014).

La leche cruda de buena calidad no debe contener residuos ni sedimentos, no debe ser insípida ni tener color y olor anormales, debe tener un contenido de bacterias bajo, no debe contener sustancias químicas (por ejemplo, antibióticos y detergentes), y debe tener una composición y acidez normales (FAO, 2015). La calidad higiénica está relacionada con el contenido microbiano de la leche cruda (Martínez M., 2013), y se puede considerar que es de alta calidad microbiológica cuando:

- a) No hay en ella microorganismos patógenos.
- b) El número de microorganismos banales que se encuentran es limitado.
- c) Se puede utilizar en la elaboración de productos lácteos (García, 2014).

Los diferentes microorganismos alcanzan la leche por dos vías principales: mamaria y del medio externo.

- Vía mamaria: los microorganismos pueden llegar a contaminar la leche antes o después del ordeño a través de la ubre. Estos microorganismos pueden alcanzar la leche por vía mamaria ascendente o mamaria descendente. En el primer caso, las bacterias que se adhieren a la piel de la ubre posterior al ordeño, entran a través del esfínter del pezón (*Staphylococcus aureus*, *Streptococcus*, *Coliformes*). En el caso de la vía descendente o hematogéna, los microorganismos que pueden causar enfermedad sistémica o tienen la propiedad de movilizarse por la sangre y a través de los capilares mamarios, pueden llegar a infectar la ubre (*Salmonellas*, *Brucellas*, *Mycobacterium tuberculosis*).
- Medio externo: la contaminación de la leche puede ocurrir una vez que ha sido extraída de la glándula mamaria. Los utensilios, tanques de almacenamientos, transportes, e incluso el personal que manipula la leche, son fuentes de contaminación de microorganismos causantes de grandes pérdidas en la calidad del producto.

La importancia del estudio microbiológico de la leche basado en esos tres aspectos:

- Los microorganismos producen cambios deseables en las características físico químicas de la leche durante la elaboración de diversos productos lácteos.
- Los productos lácteos y la leche pueden contaminarse con microorganismos patógenos o sus toxinas y provocar enfermedad en el consumidor.
- Los microorganismos pueden causar alteraciones de la leche y productos lácteos haciéndolos inadecuados para el consumo (Jay, 2000).

Altas temperaturas ambientales, intensa radiación directa, indirecta y humedad son factores ambientales que imponen estrés en los animales. El desempeño productivo del ganado bovino de leche es directamente afectado por los factores climáticos de su entorno productivo, el nivel óptimo de temperatura ambiente para obtener los mejores resultados oscila entre los 13 y 20 °C. Con temperaturas por debajo de 13 °C, el animal sufre de estrés de frío, y a temperaturas por sobre 25 °C, el animal se encuentra en estrés por calor. Cuando los animales padecen de la influencia del estrés ambiental, soportan constantes situaciones deprimentes que pueden traer como consecuencia una mayor frecuencia en la aparición de enfermedades y una disminución de los niveles de producción (Roca, 2012).

El bienestar de un individuo se entiende como el estado de armonía con su medio ambiente. Los factores climáticos inciden en la actividad ganadera en forma directa, al actuar sobre la fisiología productiva del animal y en forma indirecta, al afectar el desarrollo del pasto y los forrajes, haciendo de estas fotosintéticamente más eficientes; esta es la causa fundamental de la diferencia de la productividad entre las zonas templadas y tropicales.

Entre las variables atmosféricas que influyen en el confort térmico de los animales están: la temperatura (T) y la humedad relativa (HR), las desviaciones acentuadas de estas variables, a partir de las condiciones óptimas, provocan alteraciones en el ritmo de las actividades vitales, tales como

la temperatura corporal, ingestión, digestión, respiración, circulación de la sangre, estado de las glándulas de secreción interna, etc. (Suárez *et al.*, 2012).

El confort y normal funcionamiento de los procesos fisiológicos del animal dependen del aire que rodea su cuerpo. El calor se pierde por mecanismos físicos desde la piel caliente hacia el aire más fresco que la rodea. Si la temperatura del aire es superior al rango de confort, disminuye la pérdida de calor y si aumenta por encima de la temperatura de la piel, el calor fluirá en dirección inversa.

Los mamíferos tienen la facultad de mantener una temperatura constante, con variaciones insignificantes durante toda su vida, generalmente entre 37.5 °C y 39 °C. Es por eso que, al modificarse la temperatura ambiente, cae la producción o se verifica el adelgazamiento del ganado, pues el animal tiene que gastar energía para mantener la temperatura corporal dentro de la normalidad.

Las altas temperaturas del medio pueden impedir el crecimiento de los animales después del destete, el grado difiere según la raza, edad, condición corporal, plano de nutrición y humedad relativa (Córdoba *et al.*, 2014). Cuando la humedad es alta, hay una disminución en el potencial de disipación de calor, tanto por la piel como por las vías respiratorias, lo que afecta a los animales con destaque en los ambientes en los cuales la eliminación de calor por evaporación es esencial para mantener la condición homeotérmica. El ITH combina la temperatura y la humedad relativa en un índice único, que es comúnmente asociado con el estrés térmico (Cerqueira *et al.*, 2016).

Los bovinos al igual que todos los mamíferos, son animales homeotermos, es decir, organismos que a pesar de las fluctuaciones en la temperatura ambiental, son capaces de mantener relativamente constante la temperatura corporal. El calor corporal total procede de tres fuentes básicas que son, en orden de importancia, el metabolismo normal, el medio ambiente y la actividad física y productiva.

La vaca usa el 60-65 % de la energía consumida diariamente en la producción de carne o de leche y el 35-40 % es convertida en calor, cuando el animal requiere disipar el calor emplea dos tipos de mecanismos: la transmisión que es responsable del 75 % del calor disipado por el bovino utilizando los sistemas de radiación, conducción y convección, y la vaporización que es responsable del restante 25 % del calor disipado utilizando los sistemas de transpiración o sudoración y de expiración o jadeo.

La otra fuente de producción de calor es la temperatura o calor ambiental, los bovinos paradójicamente, tienen mayor capacidad para soportar las temperaturas bajas que las altas. Por la presencia de estaciones se ha estudiado la tolerancia en vacas lecheras a temperaturas menores de 5 °C. Una vaca adulta en su pico de lactancia es muy tolerante a temperaturas muy bajas de hasta -17 °C o menos, porque genera mucho calor con el nivel de metabolismo normal y con la fermentación ruminal. Cuando la combinación de los factores ambientales (temperatura y humedad) y de manejo persiste por períodos prolongados, se genera un estado de respuestas fisiológicas y de comportamiento conocido como estrés. Se define el estrés como «todos aquellos factores ambientales que afectan el estado normal de bienestar del animal». Las repercusiones del estrés calórico están influenciadas por una serie de mecanismos de adaptación del propio organismo de la vaca. Pero el hecho es que afecta definitivamente:

- La productividad del animal.
- La aptitud reproductiva.
- La salud de las vacas (González, 2014).

En la producción de leche se ha comprobado un efecto negativo en todas las etapas de producción, aunque en formas y proporciones diferentes. La vaca lechera es particularmente sensible al clima cálido. Es evidente su efecto en la disminución del consumo de alimentos y del nivel de producción. Para las vacas lecheras, la principal estrategia para reducir el calor corporal es la reducción voluntaria del consumo de materia seca (González, 2014). Los efectos del estrés calórico sobre el animal pueden ser de dos tipos:

1. Directos. Alteraciones del metabolismo para acomodarse al incremento de calor con repercusión hormonal, las cuales afectan directamente el inicio de la actividad ovárica.
2. Indirectos. Alteración de la calidad y cantidad del alimento. Entre los factores que influyen el grado de afección por estrés calórico se pueden mencionar: raza, estado fisiológico, nivel de producción láctea, edad, color de la piel, exposición al ambiente y variación propia de los animales.

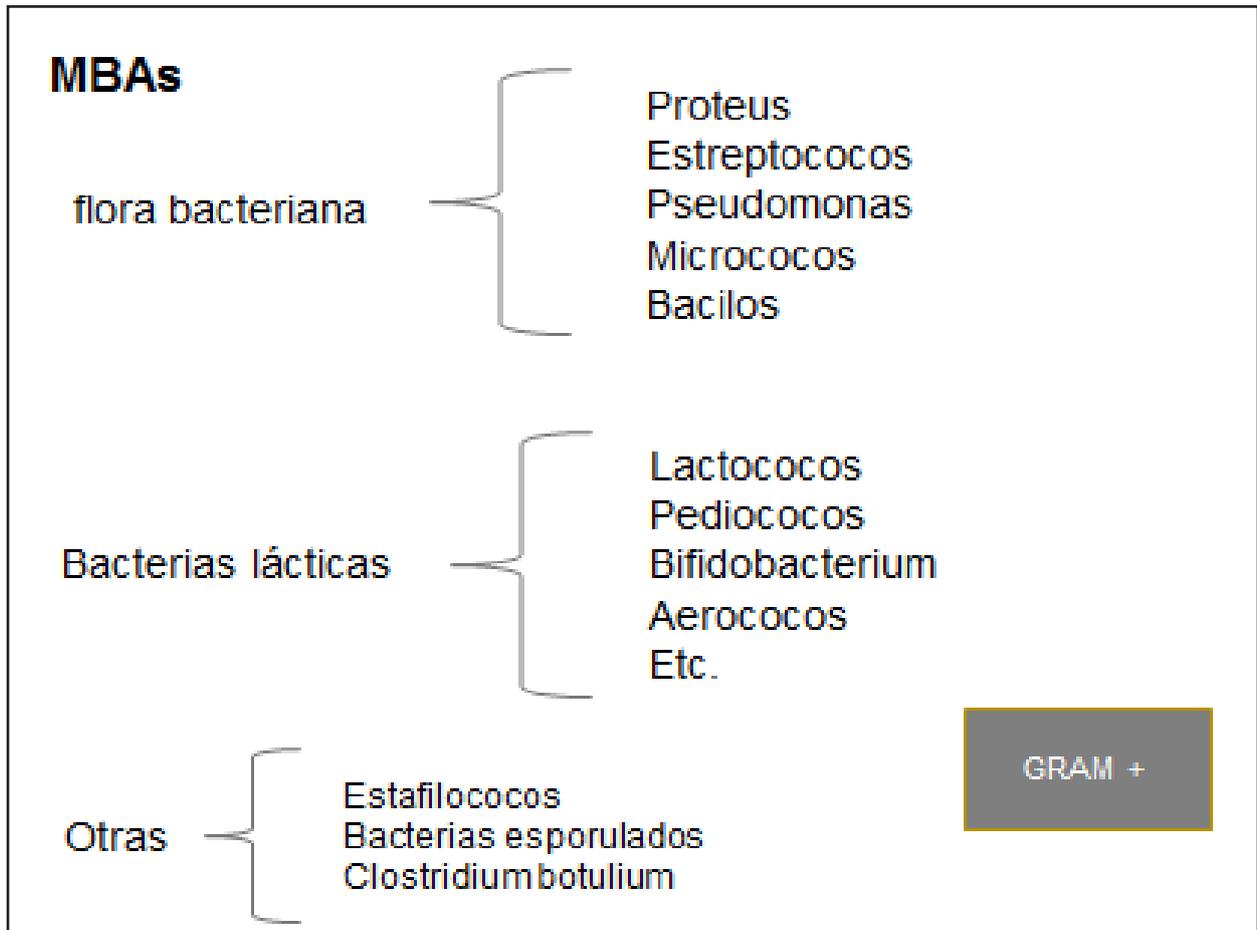
La intensidad de los efectos negativos de las temperaturas ambientales elevadas depende de la eficiencia de los mecanismos termorreguladores y de las altas temperaturas (temperatura media del aire 29,5 °C, humedad relativa del 90,6 %), que generan el estrés por calor y agudizan altas concentraciones sanguíneas de cortisol en novillas Holstein.

Desde el punto de vista bioclimático, las respuestas de los animales al medio ambiente cálido son relacionadas de varias formas, y evidentemente involucran los efectos directos de la temperatura, alterando la regulación del sistema nervioso, el balance hídrico, el nivel hormonal, el balance nutricional y el equilibrio bioquímico (Vélez *et al.*, 2014).

Las bacterias mesófilas aerobias, son aquellas que descomponen la materia orgánica a temperaturas que oscilan entre 30 y 40 °C. Sus características son las siguientes:

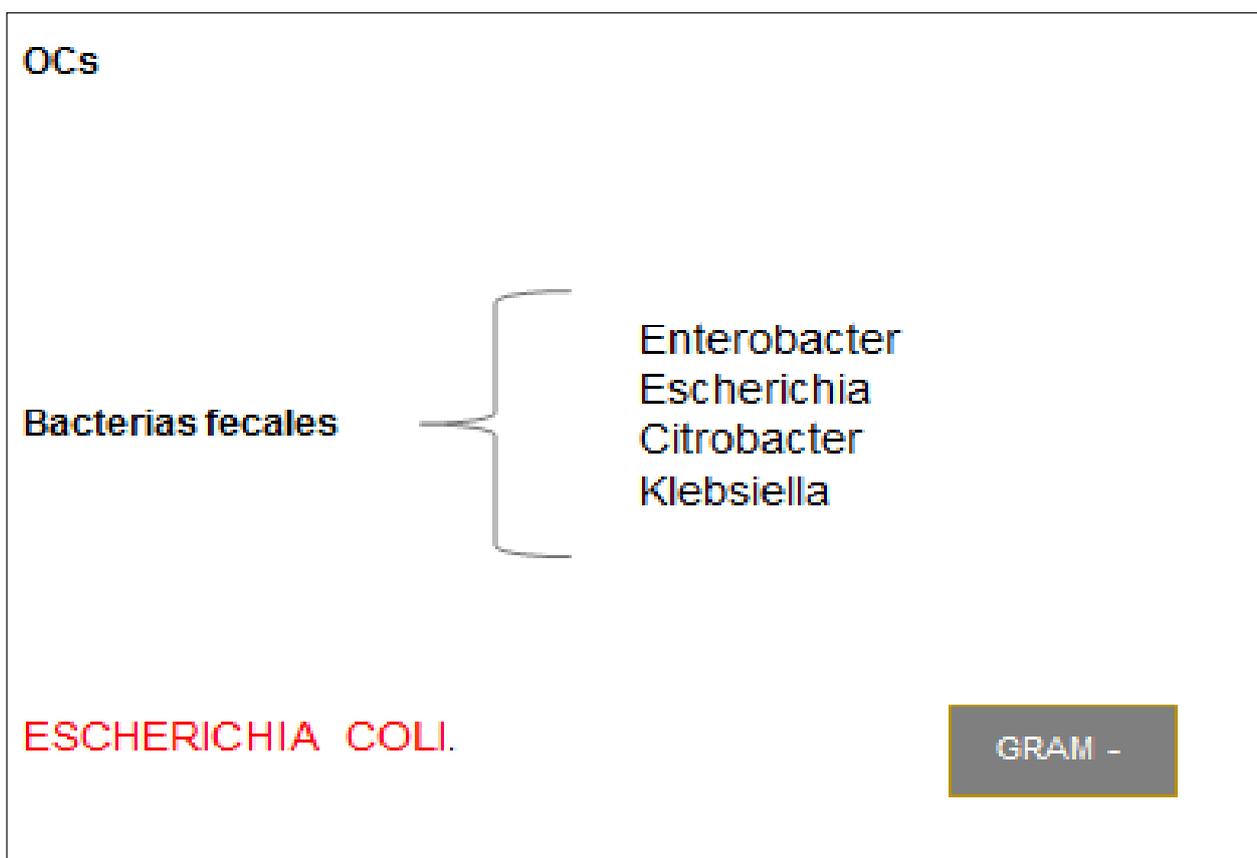
- Se multiplica de manera aerobia
- La temperatura de incubación entre 20 y 37 °C
- Pueden ser patógenas o saprofitas

El recuento alto en alimentos estables indica contaminación o tratamientos no satisfactorios desde el punto de vista sanitario (Jay, 2002), (EcuRed, 2010). Las BMA proporcionan información acerca del número de bacterias viables y es un recurso valioso adicional para el grado de exposición de los alimentos a la contaminación por microorganismos (Jay, 2002). Algunas cepas de bacterias mesófilas comunes, generalmente no consideradas como agentes de enfermedades transmitidas por los alimentos, han sido señaladas como causa de enfermedad cuando existía un elevado número de células viables en los alimentos (EcuRed, 2010).



La leche cruda de vaca no debe superar las 700,000 ufc/mL de bacterias aerobias mesófilas para ser considerada de calidad estándar (Martínez, 2013).

Tradicionalmente hemos considerado que la glándula mamaria era estéril, aunque a nivel de campo siempre han aislado en gran número de muestras procedentes de leche de vacas sanas, los denominados estafilococos coagulasa negativos (Jiménez, 2018), representados habitualmente por cuatro géneros de la familia Enterobacteriaceae: *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia* y *Klebsiella*. Se trata de un grupo de bacterias Gram negativas, aerobias y anaerobias facultativas, no formadoras de esporas, fermentadoras de la lactosa a 37 °C en 48 horas, que poseen la enzima  $\beta$ -galactosidasa, son oxidasa negativa y su forma celular es de bacilos cortos. La principal bacteria de este grupo es la *Escherichia coli* cuya presencia en los alimentos indica una posible contaminación fecal por lo cual el consumidor en caso de ingerir ese alimento podría estar expuesto a bacterias entéricas. Pueden ser fácilmente destruidos por el calor utilizado en las diversas etapas de elaboración (Jay, 2002; Campuzano, 2015).



El término mastitis se utiliza para referirse a la inflamación de la glándula mamaria independientemente de la causa y se caracteriza por cambios físicos, químicos y usualmente cambios bacteriológicos en la leche, así como cambios patológicos en los tejidos glandulares. De acuerdo a la presentación de la enfermedad se puede clasificar en:

**Mastitis clínica.** Se presenta de manera súbita, hay inflamación y enrojecimiento de la ubre, dolor, disminución de la producción y alteraciones en la leche de los cuartos afectados. La leche puede contener grumos, coágulos, con consistencia de agua y los animales presentan fiebre, depresión y anorexia.

**Mastitis subclínica.** No presenta signos visibles de enfermedad, la leche es aparentemente normal, pero existe una disminución en la producción de la misma y un aumento en el conteo de células somáticas.

Se han identificado 138 patógenos causantes de mastitis, esta variedad de microorganismos a la vez se clasifican en aquellos que causan mastitis contagiosa, es decir, los que se diseminan de los cuartos infectados a otros cuartos y a otros animales; existen los que son habitantes normales de la piel del pezón y actúan como oportunistas en la presentación de esta enfermedad; por último, están los microorganismos que se encuentran en el medio ambiente y logran llegar a la glándula mamaria. Los patógenos causantes de mastitis contagiosa más comunes son *Staphylococcus aureus*

y *Streptococcus agalactiae*. La vía principal de transmisión es de vaca a vaca cuando se utilizan los mismos instrumentos para lavar las glándulas de los animales, así como de pezoneras y equipo de ordeño mal desinfectado.

Los patógenos oportunistas que residen en la piel del pezón tienen la habilidad de provocar una infección intramamaria a través de una infección ascendente por medio del canal del pezón, siendo los *Staphylococcus* spp coagulasa negativo (SCN) las bacterias oportunistas más comunes.

Mastitis medio-ambiental. Causada por bacterias como *E. coli*, que no viven en la piel de la ubre, pero entra al canal del pezón cuando la vaca está en contacto con un medio-ambiente sucio. Estas bacterias se encuentran en las heces, camas y alimentos. Este tipo de mastitis está asociada a bacterias que se pueden clasificar en tres grupos:

- a) Coliformes: Principalmente *E. coli* y *Klebsiella* spp.
- b) *Streptococcus* spp ambientales: *S. disgalactiae* y *S. uberis*.
- c) *Arcanobacterium pyogenes*.

Las bacterias coliformes son una causa común de mastitis clínica, ocasionalmente de presentación hiperaguda. Dentro del grupo de bacterias coliformes tenemos como bacteria principal a *E. coli*, pero también la puede causar otros géneros como *Klebsiella* spp y *Enterobacter* spp, en menor proporción se encuentran *Serratia* spp, *Pseudomonas* spp y *Proteus* spp. Están en el tracto gastrointestinal de los animales, por tanto, también se encuentran en el suelo, alimento, mangueras y agua. Los factores climáticos como temperatura y humedad aumentan el riesgo de contraer la enfermedad, ya que los coliformes y estreptococos alcanzan un número mayor cuando existe un clima húmedo y caliente (Ruíz, 2015).

<b>ESPECIFICACIONES</b>	<b>LÍMITE MÁXIMO</b>
Mesofílicos aerobios UFC/mL	30000
Organismos Coliformes totales UFC/mL en planta	10
Organismos Coliformes totales UFC/mL en punto de venta	20
<i>Salmonella</i> spp en 25 mL	Ausente
<i>Staphylococcus aureus</i> en 25 mL	Ausente
<i>Listeria monocytogenes</i> en 25 mL	Negativo

Ilustración 1. Norma Oficial Mexicana NOM-091-SSA1-1994. Bienes y servicios. Leche pasteurizada de vaca.

## Normas de referencia

### **NOM-110-SSA1-1994.** Preparación y dilución de muestras para su análisis microbiológico.

Esta norma está orientada para la preparación de diluciones para el examen microbiológico de alimentos.

\* Dilución Primaria: Tiene por objetivo obtener una distribución lo más uniforme posible de los microorganismos contenidos en la muestra para el análisis.

\* Diluciones Decimales Adicionales: Tiene como objetivo el número de microorganismos por unidad de volumen, para permitir, después de la incubación, la observación y la cuenta de colonias de la muestra.

### **NOM-092-12/12/1995.** Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.

- Se usa para investigar el contenido de microorganismos viables en un alimento.
- El número de colonias contadas constituyen una estimación de la cifra realmente presente y refleja si el manejo sanitario del producto ha sido el adecuado.
- El fundamento de la técnica consiste en contar colonias que se desarrollan en el medio de elección.

### **NOM-113-SSA1-1994.** Método para la cuenta de microorganismos coliformes en placa.

- La cuenta de microorganismos coliformes es utilizado en la microbiología como indicador de prácticas higiénicas adecuadas.
- La demostración y la cuenta de microorganismos coliformes pueden realizarse mediante el empleo de medios de cultivo líquido-sólidos con características selectivas o diferenciales.
- Agar rojo violeta bilis es el medio selectivo en el que se desarrollan bacterias a 35 °C en aproximadamente 24 h.
- El medio de cultivo, las condiciones de temperatura y la presencia de oxígeno, permiten seleccionar grupos de bacterias cuya presencia es importante en diferentes alimentos.

La técnica se basa en contar las «unidades formadoras de colonias» o UFC presentes en un gramo o mililitro de muestra. Se considera que cada colonia que desarrolla en el medio de cultivo de elección después de un cierto tiempo de incubación a la temperatura adecuada, proviene de un microorganismo o de un agregado de ellos, de la muestra bajo estudio; este microorganismo o microorganismos son capaces de formar la colonia, es decir una UFC (Camacho *et al.*, 2009).

## Hipótesis

El estrés ambiental es una causa del aumento de las unidades formadoras de colonias en la leche de bovino del ganado de La Presa, municipio de Morelia, Michoacán.

## Objetivo

Evaluar el impacto que tiene el estrés ambiental en la calidad microbiológica de la leche del ganado bovino en la localidad La Presa, municipio de Morelia, tomando como base la **NOM 092. 12/12/95**. Método para la cuenta de bacterias mesófilas aerobias en placa y la **NOM 113. 25/08/99**. Método para la cuenta de organismos coliformes totales en placa, con la **NOM.110. 16/10/ 95**. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico.

## Materiales\*, equipos\*\* y reactivos\*\*\*

- ✓ Mechero bacteriológico\*
- ✓ Cajas Petri\*
- ✓ Pipetas de 1 y 2 ml\*
- ✓ Tubos de ensaye con tapa\*
- ✓ Balanza granataria\*\*
- ✓ Estufa de cultivo\*\*
- ✓ Contador de Quebec\*\*
- ✓ Solución amortiguadora de fosfato\*\*\*
- ✓ Medios de cultivo (agar cuenta estándar, agar rojo violeta bilis)\*\*\*

## Métodos

El presente trabajo se realizó entre los meses de julio de 2018 y febrero de 2019 en la población de La Presa en el municipio de Morelia. La localidad tiene una altitud de 2,100 m sobre el nivel del mar, predomina el clima templado de humedad media, con una temperatura media anual de 14 °C a 18 °C, y una máxima de 38 °C. El código postal es 58310 con las coordenadas del GPS 19.794723' de latitud y -101.252043 de longitud oeste (MAPS, 2018).

Se tomarán 50 muestras de leche cruda resultado de las ordeñas de 50 productores, las cuales se procesarán en el área de bacteriología de la unidad de servicios auxiliares para el diagnóstico (USAD) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

## Procedimiento

Se acudió a La Presa, municipio de Morelia, en un horario de siete de la mañana cuando la leche está previamente ordeñada. Se homogeneizó con un cucharón de aluminio que fue esterilizado antes de su uso.

Se tomarán las primeras 20 muestras, las cuales se colocarán en una hielera herméticamente cerrada y se transportarán a la posta zootécnica de la UMSNH, al laboratorio bacteriológico para realizar el cultivo de las bacterias correspondiente. A la semana siguiente se acudirá nuevamente y se tomarán 15 muestras, y la última semana se acudirá a tomar 15 muestras más, siendo esta la última visita.

## El Agar para Métodos Estándar

También conocido como Agar Cuenta Estándar, es un medio utilizado para el recuento de bacterias mesófilas aerobias a partir de agua, aguas residuales, alimentos y productos lácteos (DASEK, 2017).

FÓRMULA: (aproximada en g/L)			
Peptona de Caseína	5.0 g	Dextrosa	1.0 g
Extracto de Levadura	2.5 g	Agar Bacteriológico	15.0 g
pH 7.0 ± 0.2			

Ilustración 2. Fórmula para preparar Agar Cuenta Estándar (DASEK, 2017).

## El agar rojo violeta bilis

Es un medio utilizado para la detección y recuento de organismos coliformes presentes en agua, leche y otros alimentos. En este medio, las colonias coliformes presentan una morfología típica que permite su identificación (LAB, 2016).

FÓRMULA			
Extracto de levadura.....	3.0 g	Peptona de gelatina.....	7.0 g
Mezcla de sales biliares.....	1.5 g	Lactosa.....	10.0 g
Cloruro de sodio.....	5.0 g	Rojo neutro.....	0.03 g
Cristal violeta.....	0.002 g	Agar bacteriológico.....	15.0 g
pH.....	7.4 ± 0.2 a 25 °C		

Ilustración 3. Fórmula del agar rojo violeta bilis (LAB, 2016).

## Procesamiento de los cultivos

Agar para Métodos Estándar:

1. Suspensa 23.5 g del medio en un litro de agua purificada.
2. Caliente con agitación frecuente e hierva durante un minuto para disolver completamente el medio.
3. Autoclave a 121 °C durante 15 minutos.

Agar rojo violeta bilis:

1. Suspensa 41,5 g del medio en un litro de agua purificada.
2. Caliente la solución agitando frecuentemente y permita la ebullición durante dos minutos. **NO SE METE A LA AUTOCLAVE.**
3. Permite el enfriamiento del medio a 45-46 °C y dispense 15-20 mL en una placa de Petri de 100 mm que contiene el inóculo.
4. Luego de la solidificación del medio inoculado, adicione de manera uniforme una capa de cubrimiento de 4 mL del medio de agar enfriado (45-46 °C).

## Técnicas

De acuerdo a:

La NOM 110. 16/10/95. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico.

La NOM 092. 12/12/95. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.

La NOM 113. 13/09/95. Método para la cuenta de organismos coliformes totales en placa.

## Procedimiento general

### ➤ **Dilución primaria para muestras líquidas.**

1. Agitar la muestra manualmente con 25 movimientos de arriba abajo en un arco de 30 cm efectuados en un tiempo de siete segundos.
2. Tomar 1 ml de la muestra y diluir en 9 ml de diluyente.

➤ **Diluciones decimales**

1. Transferir 1 ml de la dilución primaria 1 + 9, en otro recipiente conteniendo nueve veces el volumen del diluyente estéril a temperatura apropiada.
2. Las diluciones de la muestra deben ser separadas inmediatamente antes de su análisis y estas deben ser usadas para inocular el medio de cultivo.

➤ **Cuenta BMA y OC**

Preparación de la muestra.

Seguir la NOM-110-SSA1-1994. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico.

1. Marcar las cajas Petri en sus tapas con los siguientes datos: tipo de cuenta a realizar (BMA/OC), lugar de procedimiento y dilución ( $10^1/10^3$ ).
2. Inocular las diluciones de las muestras en las cajas Petri, agregar de 12-15 ml de medio de cultivo preparado.
3. Mezclarlo mediante seis movimientos de derecha a izquierda, seis en sentido contrario a las manecillas del reloj, seis en sentido a las manecillas del reloj y seis de atrás para adelante. Esto sobre una superficie lisa y horizontal hasta lograr una completa incorporación del inóculo en el medio.
4. (No se debe exceder los 20 minutos después de que la muestra entra en contacto con el diluyente y se le adicione el medio de cultivo).
5. Dejar solidificar.

**Especificaciones**

- Incubar las cajas en posición invertida. Por 48 horas a 35 °C las muestras de BMA y por 24 horas a 35 °C las muestras de OC.
- Seleccionar las placas que tienen entre 25 y 250 UFC de BMA y contar todas aquellas colonias desarrolladas omitiendo mohos y levaduras. Usar el contador de Quebec.
- Para OC se seleccionan las placas que tienen entre 15 y 150 UFC, son de color rojo oscuro y normalmente se encuentran rodeadas de un halo de precipitación de color claro a rosa, debido a las sales biliares.

## Métodos de conteo de UFC por mililitro de muestra.

Se usan dos métodos:

1. El número de UFC en la placa se multiplica por la inversa de la dilución de la muestra seleccionada.
2. Cuando la muestra sobrepasa el límite establecido de colonias.

Se cuentan las colonias totales en cinco cuadros grandes (usando el contador de Quebec), el promedio de colonias contadas se multiplica por 65 y se vuelve a multiplicar por la inversa de la dilución de la muestra seleccionada. El resultado se expresa con \*aproximadamente\* UFC.

## Resultado y discusión

Se analizaron un total de 50 muestras de leche obtenida del mismo número de unidades de producción de la población La Presa, municipio de Morelia, Michoacán. El muestreo se realizó al azar, considerando la disposición de los productores en cuanto a la colaboración para el muestreo.

De las 50 muestras analizadas, 18 % se encuentran fuera del límite establecido por el MVZ. Marcelo Alejandro en 2004, quien dice que <100,000 UFC/ML de organismos coliformes en la leche cruda, es un rango aceptable para la calidad de la leche; 8 % de las muestras se encontraron libres de OC; y 74 % se encuentran dentro del rango mencionado.

El 36 % de las muestras analizadas se encuentran por encima del límite establecido por el decreto 2838 de 2006 de calidad microbiológica de la leche cruda que especifica que 700,000 UFC/ML es lo máximo aceptable de Bacterias Mesófilas Aerobias. Por lo tanto, el 64 % de las muestras están dentro de los parámetros aceptables de calidad.

**Tabla 1**  
Resultado del recuento de OC.

Rango	Núm. Muestras	Porcentajes
<b>10-100,00</b>	37	74
<b>100,001- 2,400,000</b>	9	18
<b>Negativo</b>	4	8
Total	<b>50</b>	<b>100</b>

## Organismos coliformes

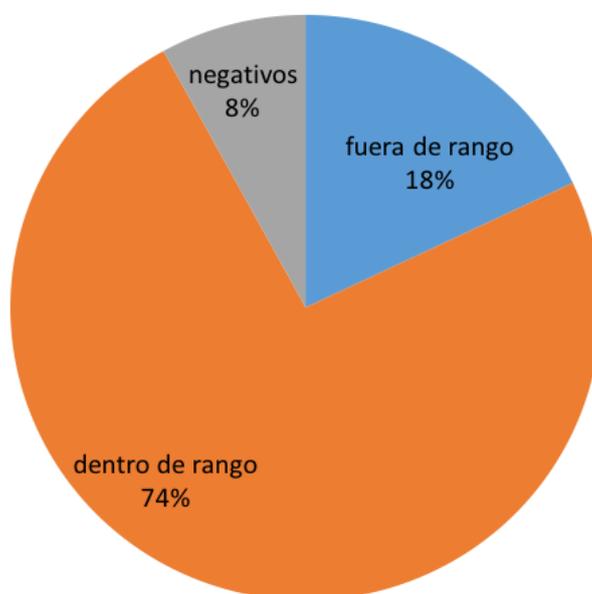


Ilustración 4. Porcentaje de los resultados de O.C, obtenidos de las muestras.

**Tabla 2**  
Resultado de recuento de BMA

Rango	Núm. Muestras	Porcentaje
700-700,000	32	64
701,000-24,000,000	18	36
Total	50	100

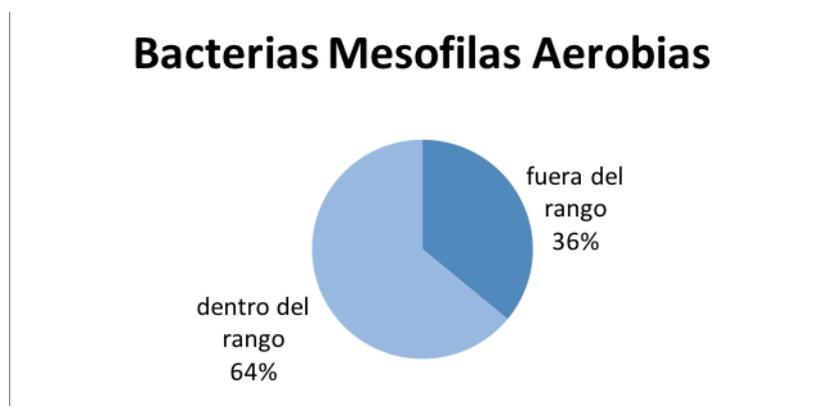


Ilustración 5. Porcentaje de los resultados de BMA, obtenidos de las muestras.

En un análisis microbiológico de leche de origen orgánico realizado por la UNAM y otras facultades del área de la salud, en una empresa familiar en el Distrito Federal, México, se determinó un total de 135,000, 000 UFC/ml de bacterias mesófilas aerobias en una muestra de leche cruda almacenada en un tanque y 150,000,000 NPM/ml de organismos coliformes (Fuentes-Coto *et al*, 2013).

El cambio climático ha tenido impacto en el estrés calórico de los animales alterando en un mínimo la calidad microbiológica y un máximo en la cantidad de leche que producen. El incremento de la temperatura en el estado de Michoacán ha venido incrementando en los últimos 20 años, según los registros del meteorológico de Morelia, alterando lentamente la calidad de vida en los hatos ganaderos, obligando a los productores a tomar medidas alternas para el bienestar de los animales vacunos.

## Bibliografía

- Camacho, A., Giles, M., Ortigón, A., Palao, M., Serrano, B. y Velázquez, O. (2009). Cuenta en placa de bacterias. *Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos*, 2 ed. Facultad de Química, UNAM, México. [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TecnicBasicas-Cuenta-en-placa\\_6527.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TecnicBasicas-Cuenta-en-placa_6527.pdf)
- Campuzano, S., Mejía, D., Madero, C. y Pabón, P. (2015). Determinación de la calidad microbiológica y sanitaria de alimentos preparados vendidos en la vía pública de la ciudad de Bogotá D.C. *Nova*, 13(23), 81-92. <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v13n23/v13n23a08.pdf>
- Casado, P. y García, J. (2014). La calidad higiénica de la leche. *Hojas divulgativas*, 14/83. [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1983\\_14.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1983_14.pdf)
- Cerqueira, J., Araújo, J., Blanco Penedo, I., Cantalapiedra, J., Silvestre, A. y Silva, S. (2016). Predicción de estrés térmico en vacas lecheras mediante indicadores ambientales. *Archivos de Zootecnia*, 65(251), 357-364. <https://doi.org/10.21071/az.v65i251.697>

- Córdova Izquierdo, A. y Castillo Juárez, H. (2014). Efecto de factores climáticos sobre la conducta reproductiva bovina en los trópicos. *Engormix*. <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/efecto-factores-climaticos-sobre-t30680.htm>
- DASEK. (2017). Material, equipo y reactivos para laboratorio. <https://dazek.jimdo.com/>
- EcuRed. (2010). Bacterias mesófilas. [https://www.ecured.cu/Bacterias\\_mes%C3%B3filas](https://www.ecured.cu/Bacterias_mes%C3%B3filas)
- FAO. (2015). Portal lácteo. <http://www.fao.org/dairy-production-products/products/calidad-y-evaluacion/es/>
- Fuentes Coto, G., Ruiz Romero, R., Sánchez Gómez, J., Ávila Ramírez, D., y Escutia Sánchez, J. (2013). Análisis microbiológico de leche de origen orgánico: Atributos deseables para su transformación. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 10(4), 419-432. <http://www.redalyc.org/pdf/3605/360533097003.pdf>
- González Páez, J. (2014). El estrés calórico en los bovinos. *Sitio Argentino de Producción Animal*, 68-74. [https://www.produccion-animal.com.ar/etologia\\_y\\_bienestar/bienestar\\_en\\_bovinos/14-stres.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/etologia_y_bienestar/bienestar_en_bovinos/14-stres.pdf)
- Jiménez, L. (2018). La Microbiota de la Glándula Mamaria Bovina. *Producción animal*. <http://www.produccionanimal.com/la-microbiota-de-la-glandula-mamaria-bovina/>
- Martínez, M. y Gómez, C. (2013). Calidad composicional e higiénica de la leche cruda recibida en industrias lácteas de Sucre, Colombia. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), 93-100. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/309/506>
- MCD. LAB. (s.f.). Agar bilis y rojo violeta. [file:///C:/Users/Angel/Downloads/FT%20Agar%20Bilis%20y%20Rojo%20Violeta%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Angel/Downloads/FT%20Agar%20Bilis%20y%20Rojo%20Violeta%20(2).pdf)
- Méndez, V. y Osuna, L. (2007). Caracterización de la calidad higiénica y sanitaria de la leche cruda en algunos sistemas productivos de la región del Alto del Chicamocha departamento de Boyacá [Tesis para optar por el título de Médicos Veterinarios], Universidad de La Salle, Medicina Veterinaria, Bogotá D. C. [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1277&context=medicina\\_veterinaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1277&context=medicina_veterinaria)
- Roca Cedeño, A. (2011). Efecto del estrés calórico en el bienestar animal, una revisión en tiempo de cambio climático. *Revista Espamciencia*, 2(1), 15-25. [http://revistasespam.espam.edu.ec/index.php/Revista\\_ESPAMCIENCIA/article/view/39/22](http://revistasespam.espam.edu.ec/index.php/Revista_ESPAMCIENCIA/article/view/39/22)
- Ronquillo Rojas, R., Cruz Bautista, E., Daniel Rentería, I. y Lammoglia M. (2014). Determinación de la calidad microbiológica de la leche cruda de vaca durante la temporada invernal en Tuxpan, Veracruz. *Academia Journals*, 1107-1111. DOI:10.13140/2.1.1624.4163
- Ruiz Romero, R. (2015). Mastitis bacteriana en ganado bovino: etiología y técnicas de diagnóstico en el laboratorio. <file:///C:/Users/Angel/Downloads/mastitis-bacteriana-en-ganado-bovino.pdf>
- Suárez, E., Reza, S., Díaz, E., García, F., Pastrana, I. Cuadrado, H. y Espinosa, M. (2012). Efectos de las condiciones ambientales sobre el comportamiento ingestivo en bovinos de carne en un sistema intensivo en el Valle del Sinú. *Revista Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(2), 207-212. <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v13n2/v13n2a12.pdf>
- Vázquez, S., Selva O'Neill, Q. y Legnani, M. (2013). Importancia de los coliformes en los alimentos. [http://www.montevideo.gub.uy/sites/default/files/importancia\\_de\\_los\\_coliformes\\_en\\_los\\_alimentos.pdf](http://www.montevideo.gub.uy/sites/default/files/importancia_de_los_coliformes_en_los_alimentos.pdf)
- Vélez Marín, M. y Uribe Velásquez, L. (2010). ¿Cómo afecta el estrés calórico la reproducción? *Biosalud*, 9(2), 83-95. <http://www.scielo.org.co/pdf/biosa/v9n2/v9n2a09.pdf>

## **Producción sustentable de leche bajo un sistema silvopastoril en periodo de sequía**

Alejandro Dutton Puerto  
Héctor Magaña Sevilla  
Ana Laura Luna Jiménez  
Nicolás González Cortés  
Román Jiménez Vera

### **Introducción**

En el mundo existen dos grandes sistemas de alimentación para la producción de bovinos: el intensivo que utiliza concentrados en la alimentación y el extensivo que utiliza solo pasto. La producción a base de concentrados incrementa notablemente los indicadores productivos, tanto en la ganancia de peso como en la producción de leche. Sin embargo, en la mayoría de los casos el alto costo de los concentrados limita el margen de utilidad final para el productor. Mientras que la alimentación basada solamente en pastos, mantiene la producción de carne y leche relativamente baja debido al déficit en la disponibilidad de proteína vegetal, tanto en cantidad como en calidad suficiente a través del año.

No obstante, los valores nutricionales pobres de los pastos naturales son mejorados cuando se asocian con leguminosas, con lo cual se obtienen mayores resultados productivos y, por tanto, económicos. Por otra parte, es importante mencionar que las leguminosas no aportan grandes volúmenes de materia seca, pero sí destacan por su elevada cantidad de proteína, más por unidad de área que cualquier otro cultivo (Barros *et al.*, 2012).

En las regiones tropicales predominan los sistemas extensivos o semi-extensivos de producción de rumiantes, basados en monocultivo de pasturas, los cuales se caracterizan por su baja productividad e impacto negativo al ambiente. Ante esta problemática, en la última década se han promovido los sistemas silvopastoriles extensivos y silvopastoriles intensivos, mismos que son una modalidad de la agroforestería que se caracterizan por la presencia de altas densidades de arbustos o árboles forrajeros, asociado con pastos mejorados (Bacab *et al.*, 2013).

Al desarrollar una mezcla de arbustos forrajeros, árboles y pastos con la producción bovina, los sistemas silvopastoriles representan una buena alternativa para contribuir con la mitigación del efecto que ocasiona la actividad ganadera sobre el medio ambiente (Deambrosi *et al.*, 2011), debido a que estos sistemas se caracterizan por ayudar a conservar la cubierta vegetal, aportando fertilidad con el paso del tiempo, así como por contribuir con la producción animal al generar rentabilidad; además, hay que destacar que el silvopastoreo es considerado como un método efectivo para mitigar los efectos del cambio climático (IICA, 2016).

La ganadería en México aporta más del 50 % del requerimiento de proteína de la población en forma de leche y carne, asimismo, genera miles de empleos permanentes y temporales. Sin embargo, la ganadería depende en gran medida de pasturas basadas en monocultivos que en su

gran mayoría se encuentran en procesos moderados a severos de degradación, poco productivos y de baja calidad. Lo anterior, frecuentemente obliga a los productores a buscar nuevas áreas para extender las zonas de pastoreo, siendo una de las causas principales de la deforestación y emisión de gases de efecto invernadero con fuertes implicaciones en el cambio climático (Flores, 2014).

La producción de rumiantes en el país constituye una alternativa conveniente de producción por ser animales pequeños, prolíficos, que se adaptan fácilmente a diversos ambientes y aprovechan de manera adecuada los recursos disponibles de cada región del país. El mercado y precio se ha mantenido constante en comparación con otras especies, es atractivo para los productores por lo que en los últimos años ha incrementado su producción. Además, el ganado bovino representa una fuente importante de proteína en la alimentación humana (Sánchez, 2016).

Las zonas tropicales húmedas y subhúmedas del país equivalen a 25 % del territorio. El estado de Tabasco, como parte del trópico, ocupa el octavo lugar a nivel nacional como productor de carne de bovino (4 % de la producción nacional) y el decimonoveno lugar en la producción de leche (1.1 % de la producción nacional). La ganadería bovina de doble propósito, es una de las principales cadenas productivas. Los sistemas bovinos de producción tropical se manejan en pastoreo y su estructura está basada en la intensidad de producción (Quiroz *et al.*, 2014).

Por su parte, la ganadería bovina de los municipios de Balancán y Tenosique, en Tabasco, tiene cuatro sistemas extensivos de producción bovina, predominando los sistemas vaca-becerro y la rejeguería tradicional; con menor frecuencia la rejeguería mejorada y el de sementales. Los cuatro sistemas presentan marcadas diferencias tecnológicas y de producción, además de existir diferencias en la orientación productiva, la superficie destinada a la ganadería y el destino de la producción (Manjarrez *et al.*, 2007).

Esta ganadería se desarrolla en tres unidades ambientales (llanura, lomerío y sierra) en suelos caracterizados por ser inundables en su mayoría, pedregosos en sitios accidentados, someros sobre calizas y someros pedregosos, aptos en su generalidad para la forestería. En esta zona se han identificado cuatro unidades de ordenamiento ganadero: maderables + pastos, reserva y reforestación, arbustivas + pastos y policultivos (Manjarrez *et al.*, 2007).

Por otra parte, los sistemas de producción bovinos basados en monocultivos de pasturas presentan diversas limitaciones, entre las que destacan la baja calidad y la disponibilidad irregular del forraje, limitando esto el correcto funcionamiento ruminal y la producción animal. Asimismo, dichos monocultivos se han asociado a un alto deterioro de los suelos utilizados para la producción ganadera, debido a su alta demanda de nutrientes y poca reincorporación de minerales y materia orgánica al sistema suelo-planta (Murrieta, 2015).

Asimismo, debe considerarse que en las regiones tropicales las gramíneas naturales o cultivadas experimentan una marcada fluctuación en la cantidad cultivada y en la calidad nutritiva a lo largo del año, pues en la época de sequías el rendimiento del forraje es bajo, mientras que, en la época de lluvia, el exceso de humedad y las altas temperaturas aceleran la maduración de los pastizales disminuyendo la calidad nutritiva. Factores como la especie de planta, tipo de suelo, clima y estado de madurez, también influyen en la composición nutricional y rendimiento de los pastos, lo que causan periodos de estrés nutricional y consecuentemente una reducción en la productividad animal (Sánchez, 2016).

Aunado a lo anterior, la producción lechera en la región sureste de México generalmente se realiza en sistemas extensivos con bajos rendimientos, principalmente en temporadas de sequía, donde la base de la alimentación consiste en pastoreo de gramíneas forrajeras nativas de cada re-

gión, dichos sistemas se caracterizan por el uso de grandes superficies de tierra para la producción de pastos y escaso uso de insumos alimentarios disponibles localmente, en ellos la ganancia de peso es baja, la cual oscila entre 70 y 100 g animal  $-1$  día $-1$ , dependiendo de la calidad del pasto y las deficiencias nutricionales en los forrajes, lo que se ven reflejadas en bajos índices productivos (Sánchez, 2016).

El objetivo de este trabajo es identificar el sistema agropecuario más conveniente para la producción de leche en el periodo de sequía: silvopastoril, tradicional y combinado. Los resultados del presente proyecto servirán de base para la utilización de los sistemas silvopastoriles en la alimentación de ganado bovino, beneficiando de manera directa a los productores de la zona Los Ríos en el estado de Tabasco, al contar con una alternativa de pastoreo que ayude a incrementar su producción de leche y carne, sin alterar la fertilidad y productividad del suelo y, sobre todo, que ayude a conservar el medio ambiente al evitar nuevas áreas de cultivo de pasto para la producción animal.

## Materiales y Métodos

*Localización del proyecto.* El lugar del proyecto se localiza en Balancán, Tabasco, en la ranchería Provincia, en el km 1.5 de la carretera hacia las Cascadas de Reforma. El estudio se realizó en el rancho Acalan, productor de leche comercial. La temperatura media anual es de 26 °C, con una media de 24 °C y 28 °C en el invierno y el verano, respectivamente. La precipitación media anual es de 1,300 mm, con un promedio de 1,000-1,200 mm en la época de lluvia y de 200-400 mm en la época de seca.

El rancho Acalan es una lechería con manejo tradicional de 60 animales en rejequería en promedio anual. El ordeño es mecanizado, tipo espina de pescado de ocho unidades, y se realiza una vez al día. La especie de pasto mejorado que predomina es *Panicum maximum* cv. con especies arbóreas forrajeras como el ramón (*Brosimum alicastrum*) y el guácimo (*Guazuma ulmifolia*) hasta con cinco años de establecimiento, a una distancia promedio de cinco metros entre planta y cinco metros de callejón.

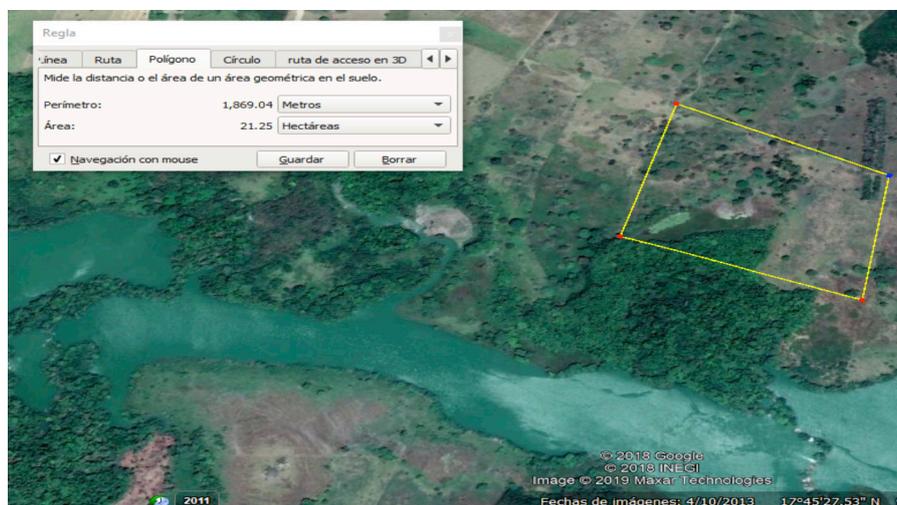


Figura 1. Localización del proyecto.

*Características de los animales.* En el rancho se trabaja con cruces de ganado europeo (suizo americano, simmental) con una raza cebuina (gyr) hembras que con dicho cruzamiento obtienen  $\frac{1}{2}$  de sangre de cada raza (obteniendo la rusticidad, fertilidad y calidad de la leche del ganado cebuino), dichos animales empiezan su vida reproductiva a los 48 meses de edad con un peso aproximado de 420 kg.

Se realiza el monitoreo de la condición corporal (escala 1-5 puntos) de todos los animales para evaluar la condición cárnica de cada una de las vacas mensualmente, donde uno equivale al mínimo y cinco a lo ideal. La producción de leche se controla a través de pesajes individuales al 100 % de cada una de las vacas en ordeño, con una frecuencia mensual; además, diariamente se determina la producción total de leche.

Se seleccionaron 12 animales, cuatro para cada tratamiento con características similares de producción de leche y con partos con fechas similares para reducir el error en las muestras. Los animales son seleccionados de manera aleatoria para cada uno de los tratamientos sin celo ni ventaja.

*Potreros.* Se realizó un monitoreo de especies arbóreas enfocado a localizar ramón (*Brosimum alicastrum*) y guácimo (*Guazuma ulmifolia*) dentro de la propiedad del rancho Acalan. El área donde se encontró mayor cantidad arbórea de estas especies es de aproximadamente 21 ha como se muestra en la Figura 1.

Para el establecimiento de potreros se realizó una limpieza por medio de chapeo con tractor de toda el área que se utilizará y se hizo un trazado para la colocación de postes y alambrado eléctrico. Los potreros tienen como pasto predominante tanzania (*Panicum maximum*) y brizhanta (*Brachiaria brizantha*), dichos potreros quedaron establecidos de una hectárea aproximadamente, quedando 20 potreros en las 21 ha.

Para el establecimiento de la *Leucaena* se recolectaron semillas cercanas al rancho y se sometieron a germinación dentro de la misma propiedad, al tener 25 cm de altura fueron trasplantados a una distancia de 3.5 m por 5 m en los potreros ya marcados y seleccionados. Los animales entraron a pastorear cuando las plantas tenían aproximadamente seis meses de sembradas. Se realizó un manejo por rotación, establecido de dos días en cada uno de los potreros pensando que la rotación durara un periodo de 40 días para regresar al potrero de inicio, dando tiempo a que se recupere tanto el pasto como los árboles forrajeros.

*Tratamientos.* El tratamiento 1 (T1) corresponde al sistema silvopastoril donde los animales ramonearon especies como: ramón (*Brosimum alicastrum*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*) y leucaena (*Leucaena leucocephala*), con pastos predominantes tanzania (*Panicum maximum*) y brizhanta (*Brachiaria brizantha*). Los animales estuvieron controlados e identificados por medio de un arete con un número de identificación individual.

En el tratamiento 2 (T2) el manejo de los animales fue el tradicional que se utiliza en el Rancho Acalan, el cual consta de una rotación de potreros donde existe un monocultivo de pastos predominantes tanzania (*Panicum maximum*) y brizhanta (*Brachiaria brizantha*). En el tratamiento 3 (T3) se combinó el T1 y el T2, correspondiendo a cada uno la mitad del tiempo del monitoreo de variables dentro de ello el pesaje de la producción de leche. La variable a medir en los tres tratamientos fue la producción de leche (litro/vaca) entre cada uno de ellos.

## Resultados y discusión

La producción lechera en el Trópico Húmedo de la región sureste del país varía durante el año, siendo muy diferente durante los periodos de lluvia y sequía. La Figura 2 muestra la producción total de leche en el periodo de sequía. Aquí se consideran los tres tratamientos utilizados para la investigación. Se puede apreciar de manera general la curva de lactancia en el paso de los días.

Los estudios muestran que las unidades de producción en el sureste de México son explotaciones pequeñas en régimen de propiedad ejidal, con un pastoreo tradicional bajo condiciones de temporal en un clima de trópico seco y alimentación suplementaria en época de secas, predominan cruza de las razas de ganado cebú con suizo y otras europeas, donde la ordeña de las vacas se realiza de madrugada una vez al día de forma manual empleándose el propio productor con la ayuda de mano de obra familiar en la mayoría de los casos (Martínez *et al.*, 2012).

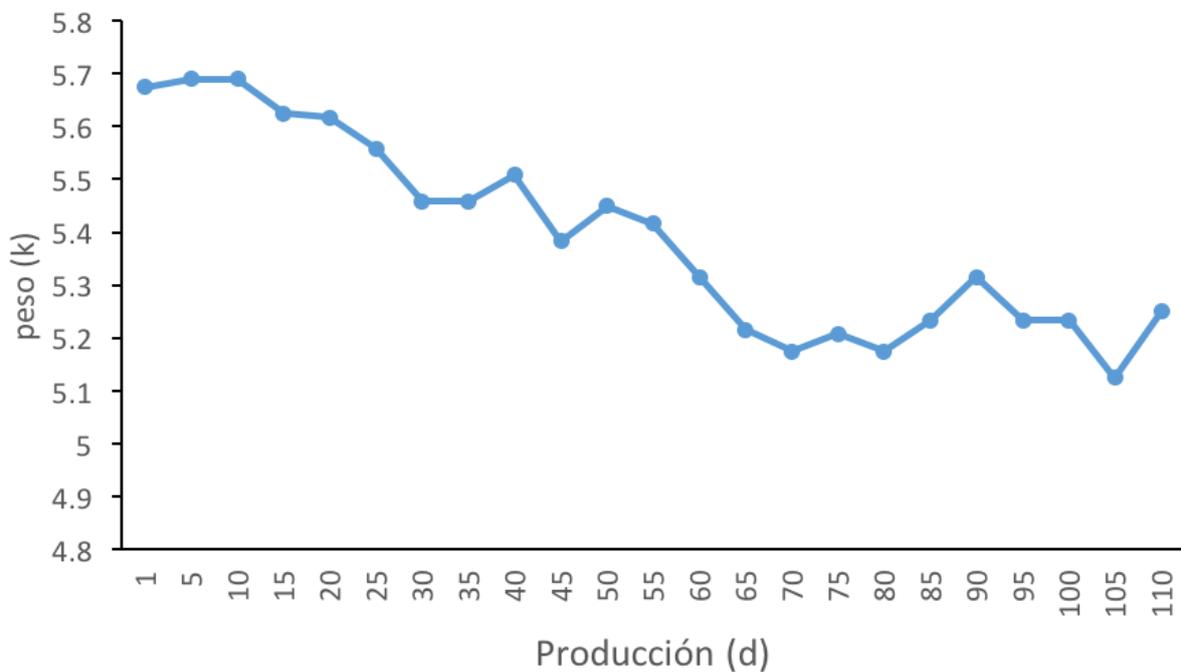


Figura 2. Producción total de leche en los tres tratamientos.

América Central ha sufrido el impacto de diversos eventos hidrometeorológicos extremos, dentro de los cuales se destaca la sequía. Esta ha tenido efectos adversos de distinta índole en la región denominada como el Corredor Seco Centroamericano (CSC). Los impactos más frecuentes se dan a nivel de granos básicos y ganado vacuno. Debido a que el CSC es una región con alta vulnerabilidad a la sequía y a otros eventos hidrometeorológicos extremos, es necesario realizar una

caracterización adecuada para el diseño e implementación de estrategias y políticas públicas anticipadas de adaptación y mitigación de la sequía en esa región y, por ende, que conduzca a mejorar la calidad de vida de su población (Calvo *et al.*, 2018).

La Figura 3 muestra la producción de leche en el periodo de sequía en las diferentes combinaciones de tratamientos. El tratamiento T2 (tradicional), fue el de menor rendimiento tras los 110 días de monitoreo con el pesaje continuo de la producción de leche. El tratamiento T3 (mixto) es muy similar al T1 (silvopastoril); sin embargo, se logra apreciar una producción de leche con una línea en pico de lactancia más uniforme. Estos resultados muestran el impacto de los sistemas silvopastoriles en la producción de leche en sistemas ganaderos.

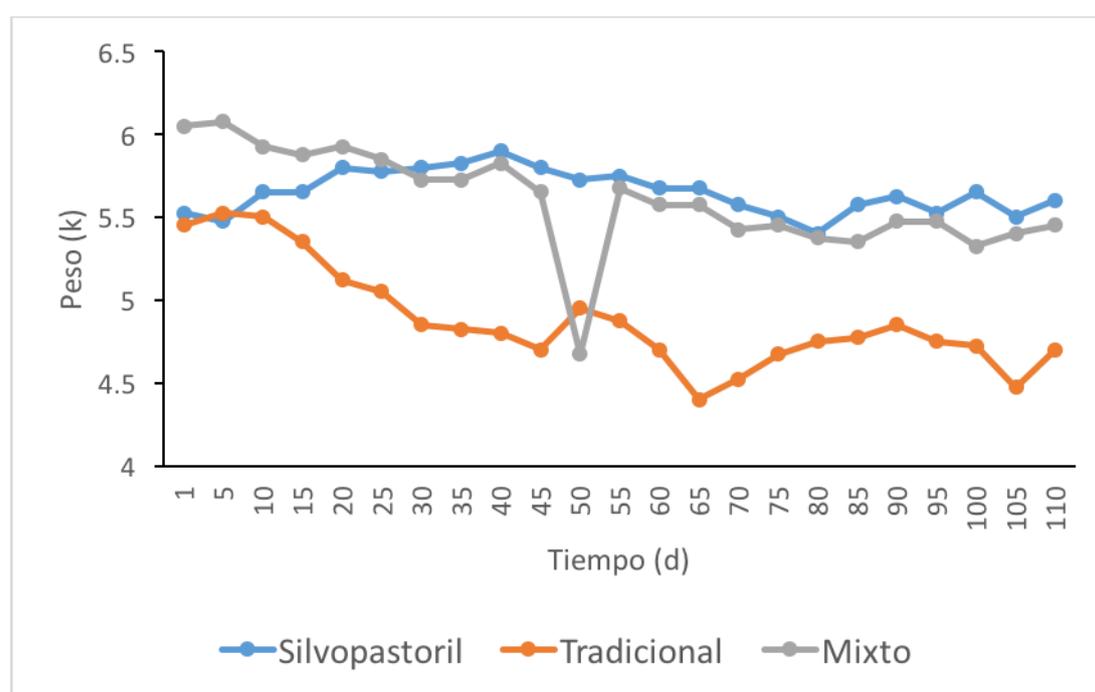


Figura 3. Producción de leche por tratamientos.

Diversos estudios demuestran que los sistemas silvopastoriles son una opción importante para mejorar la ganadería debido a su alto rendimiento y calidad de forraje, lo cual permite incrementar la producción de carne y leche. Aunado a lo anterior, estos sistemas brindan múltiples servicios ambientales como la captura de carbono, reducción de la emisión de metano, fijación de nitrógeno atmosférico, entre otros. Por ello, es necesario generar información con respecto a lo que representa este tipo de sistema para la ganadería tropical, considerándose sus fortalezas, debilidades y oportunidades, con el propósito de lograr una implementación exitosa con una mejora en la rentabilidad y sustentabilidad de los sistemas ganaderos en el trópico (Bacab *et al.*, 2013).

En estados como Oaxaca, México, se busca que a través del desarrollo de la ganadería sostenible se logre diseñar una ganadería amigable con el ambiente que permita frenar la ampliación de la frontera pecuaria a bosques, que además permita liberar áreas de ganadería para la regeneración-restauración de bosques (aumento de almacenes de carbono), y que sea una ganadería baja en emisiones (carbono, metano y óxido nitroso) logrando de esta manera que la ganadería sostenible sea una estrategia para la mitigación y adaptación para el cambio climático (Jiménez y Sepúlveda, 2015).

La caracterización de los sistemas agroforestales es una buena herramienta que proporciona elementos de análisis para la toma de decisiones en sistemas de uso del suelo. En la comunidad El Limón, municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, se identificaron un total de 70 especies arbóreas nativas e introducidas, donde el sistema más común es el silvopastoril el cual está integrado por bovinos, *Panicum maximum* Jacq. y árboles dispersos de distintas especies, mientras que los agrosilvopastoriles están compuestos de maíz, bovinos y especies arbóreas en cercas vivas (Bautista *et al.*, 2011).

Por su parte, en Uruguay la agroforestería permite la integración de diferentes actividades productivas que compatibilizan muy bien con las tan tradicionales actividades agropecuarias del sector primario uruguayo. Si bien el país, ha sido y es aún hoy, un país principalmente agrícola-ganadero, el desarrollo y crecimiento del sector forestal está siendo por demás significativo. Actualmente, el ritmo de plantación en Uruguay es de aproximadamente unas 40,000 ha anuales y se puede decir, que el 90 % de ellas se encuentran bajo algún tipo de emprendimiento silvopastoril (Polla, 2000).

El Cuadro 1 muestra la producción promedio durante el periodo de sequía con un total de 110 días de muestra. Se puede apreciar que los tratamientos T2 y T3 son inferiores en la producción promedio del tratamiento T1. Sin embargo, en la desviación estándar se puede apreciar una diferencia significativa con respecto a cada uno de los tratamientos. Siendo en esta ocasión mejor el T3 que el T2 pero el T1 mejor que ambos, reportando la menor desviación estándar en comparación con los demás tratamientos.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Bacab y colaboradores (2013), quienes reportaron que los sistemas silvopastoriles constituyen una opción importante para los sistemas ganaderos en el trópico, debido a los múltiples beneficios que brindan, tales como la alta oferta y calidad de forraje para la alimentación animal; además, con dichos sistemas se obtiene mayor producción de carne y leche en comparación con los sistemas tradicionales de producción en monocultivo. De igual manera, la implementación de este sistema permite obtener numerosos beneficios ambientales tales como captura de CO<sub>2</sub>, fijación de nitrógeno atmosférico, reducción de la emisión de CH<sub>4</sub> y NH<sub>4</sub>, incremento de la materia orgánica en el suelo y mejora en las condiciones microclimáticas.

Cuadro 1  
Producción de leche promedio en los tratamientos.

Tratamientos	Producción (x)	Desviación estándar
Silvopastoril	5.65108696	0.13087951
Tradicional	4.88352174	0.31461345
Mixto	5.60217391	0.30599252
<b>Total</b>	5.39165217	0.18515488

El uso de especies forrajeras leñosas en el pastoreo ha ocasionado mejoras sustanciales en la producción de leche, mismas que varían en función de la disponibilidad y calidad de la dieta base, así como del potencial lechero de los animales. En general, los trabajos de investigación realizados con sistemas silvopastoriles en diferentes regiones tropicales, han evidenciado incrementos en la producción de leche entre 10 a 30 % (Aguilar *et al.*, 2019).

El sistema silvopastoril mejorado permite a los pequeños productores mantener una producción de leche sin necesidad de asumir costos de implantación y mantenimiento del pastizal, tal como lo exige la producción lechera que se desarrolla sobre pasturas cultivadas. Más aún cuando se obtienen rendimientos en cantidad y calidad que no presentan diferencias significativas entre un sistema productivo y otro (Casermeiro *et al.*, 2008).

Los investigadores Estrada, Esparza, Albarrán, Yong, Rayas y García (2018) evaluaron el comportamiento productivo de bovinos doble propósito en un sistema silvopastoril intensivo en Apatzingán, Michoacán. La actividad se llevó a cabo mediante seguimientos técnico-económicos. Se monitorearon variables productivas y económicas (consumo de forraje, producción de leche, peso, ingresos y egresos) de 60 vacas de la raza Gyr, analizadas mediante estadística descriptiva y presupuestos por actividad. Se concluyó que el manejo de vacas Gyr en un sistema silvopastoril intensivo favorece la producción de leche y carne y el ingreso en la unidad de producción.

De acuerdo con Alonzo, Ibrahim, Gómez y Prins (2001), quienes evaluaron los factores biofísicos y socio-económicos en 40 fincas ganaderas en Cayo, Belice, los más altos beneficios financieros se obtuvieron en fincas con sistemas silvopastoriles comparados con los sistemas tradicionales. Las principales limitaciones mencionadas por los productores para la adopción de los sistemas silvopastoriles, fueron: el riesgo, falta de capital y de mercados seguros, y pobre calidad genética del ganado.

Rivera-Herrera, Molina-Botero, Chará-Orozco, Murgueitio-Restrepo y Barahona-Rosales (2017), evaluaron que el empleo de leucaena constituyen una alternativa ventajosa para incrementar la producción de carne y leche entre dos y cinco veces más por unidad de área, ya que en ellos se produce un mayor aporte de materia seca y proteínas, energía y algunos minerales, así como un menor contenido de fibra y una mayor eficiencia en la fermentación ruminal.

Por otra parte, debido a la oferta de biomasa, en los sistemas silvopastoriles intensivos con leucaena se puede emplear una mayor carga animal (hasta cuatro veces más que en un sistema convencional degradado y hasta dos veces que en uno con pasturas mejoradas), y se obtienen productos de mejor calidad. Además, como consecuencia de la notable eficiencia en la fermentación ruminal y la menor dependencia de insumos externos, como fertilizantes y alimentos concentrados comerciales, se genera un 15 % menos de emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de producto y alrededor del 20 % menos por kilogramo de materia seca consumida o degradada. Tales características podrían favorecer a estos sistemas para ingresar a mercados que demanden productos pecuarios bajos en carbono que contribuyan a mejorar la salud humana.

## Conclusiones

Al comparar la producción de leche en sistemas ganaderos en el Trópico Húmedo del sureste mexicano durante el periodo de sequía se obtuvieron diferencias en los tres sistemas evaluados. En el sistema silvopastoril se obtuvo la mayor producción, seguido del sistema mixto, en temporada de sequía. Diversos estudios demuestran la importancia económica y ambiental de este sistema para la producción de leche en ranchos ganaderos del mundo.

## Bibliografía

- Agropecuaria Agroindustrial y Comercial (PRESAAC). Santo Domingo. <https://www.biopasos.com/documentos/086.pdf>
- Aguilar, C., Solorio, F., Ku, J., Magaña, J. y Santos, J. (2019). Producción de leche y carne en sistemas silvopastoriles. *Bioagrociencias*, 12(1), 1-8. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/BAC/article/view/2911>
- Alonzo, Y., Ibrahim, M., Gómez, M. y Prins, K. (2001). Potencial y limitaciones para la adopción de sistemas silvopastoriles para la producción de leche en Cayo, Belice. *Agroforestería en las Américas*, 8(30), 24-26. <http://www.fao.org/3/a-x6348s.pdf>
- Bacab, H., Madera, N., Solorio, F., Vera, F. y Marrufo, D. (2013). Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(3), 67-81. <http://ganaderialaluna.com/pdf/5.pdf>
- Barros-Rodríguez, M., Briceño-Poot, E., Canul-Solís, J., Sandoval-Castro, C., Solorio-Sánchez, J. y Ku-Vera, J. (2012). Sistemas silvopastoriles con *Leucaena leucocephala* como alternativa en la producción ovina. *Bioagrociencias*, 5(2), 21-25. <https://www.veterinaria.uady.mx/bioagro/V5N2/Articulo%203.pdf>
- Bautista-Tolentino, M., López-Ortíz, S., Pérez-Hernández, P., Vargas-Mendoza, M., Gallardo-López, F. y Gómez-Merino, F. (2011). Sistemas agros y silvopastoriles en la comunidad El Limón, municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 63-76. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93915703005>
- Calvo-Solano, O., Quesada-Hernández, L., Hidalgo, H. y Gotlieb, Y. (2018). Impactos de las sequías en el sector agropecuario del Corredor Seco Centroamericano. *Agron. Mesoam.* 29(3), 695-709. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i3.30828>
- Casermeyro, J., Spahn, E., De Petre, A., Valenti, R., Butus, M., Díaz, E., Duarte, O., Chajud, A., Rosales, E. y Montiel, J. (2008). Producción lechera en un sistema silvopastoril mejorado. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 19(36), 215-255. <https://www.redalyc.org/pdf/145/14503609.pdf>
- Deambrosi, A., Capozzolo, M. y Castro, C. (2011). Sistemas silvopastoriles. *Voces y Ecos*, (29), 28-30. [https://www.biopasos.com/biblioteca/inta\\_vocesyecos29\\_sistemas\\_silvapastoriles.pdf](https://www.biopasos.com/biblioteca/inta_vocesyecos29_sistemas_silvapastoriles.pdf)
- Estrada, I., Esparza, S., Albarrán, B., Yong, G., Rayas, A. y García, A. (2018). Evaluación productiva y económica de un sistema silvopastoril intensivo en bovinos doble propósito en Michoacán, México. *CIENCIA ergo-sum*, 25(3), 1-13. <https://doi.org/10.30878/ces.v25n3a7>
- Flores, M. (2014). Sistemas silvopastoriles intensivos, base de la productividad, creación de valor y sostenibilidad de la ganadería del trópico de México. COFUPRO, México. <https://www.redinnovagro.in/docs/silvopastoril.pdf>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. (2016). Establecimiento y uso de sistemas silvopastoriles en República Dominicana. Programa de Préstamos al Sector. <https://www.biopasos.com/documentos/086.pdf>
- Jiménez-Trujillo, J. y Sepúlveda, C. (2015). Sistemas silvopastoriles y buenas prácticas para la ganadería sostenible en Oaxaca. Alianza México REDD+. Disponible en: <http://www.monitoreoforestal.gob.mx/repositorioidigital/items/show/542>
- Manjarrez, B., Hernández, S., de Jong, B., Nahed, J., de Dios, O. y Salvatierra, E. (2007). Configuración territorial y perspectivas de ordenamiento de la ganadería bovina en los municipios de Balancán y Tenosique, Tabasco.

*Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, 64*, 90-115. <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n64/n64a7.pdf>

- Martínez, C., Cotera, J. y Abad, J. (2012). Características de la producción y comercialización de leche bovina en sistemas de doble propósito en Dobladero, Veracruz. *Revista Mexicana de Agronegocios, 30*, 816-824. <https://www.redalyc.org/pdf/141/14123097004.pdf>
- Murrieta, O. (2015). Determinación de la composición nutricional de la *Leucaena leucocephala* cv. cunningham asociada con dos gramíneas en el estado de Quintana Roo. Instituto Tecnológico de la Zona Maya. Juan Sarabia. [http://www.itzonamaya.edu.mx/web\\_biblio/archivos/res\\_prof/agro/agro-2015-6.pdf](http://www.itzonamaya.edu.mx/web_biblio/archivos/res_prof/agro/agro-2015-6.pdf)
- Polla, M. (2000). Experiencias en sistemas productivos agroforestales y silvopastoriles en Uruguay. *Sitio Argentino de Producción Animal*. [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/manejo%20silvopastoril/31-sistemas\\_productivos\\_agroforestales\\_silvopastoriles\\_uruguay.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/31-sistemas_productivos_agroforestales_silvopastoriles_uruguay.pdf)
- Quiroz, J., Granados, L., Barrón, M., Espejel, A. y Espinosa, J. (2014). Estructura de los hatos bovinos en Tabasco, México. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal, AICA, 4*(2014), 252-253. [http://www.uco.es/conbiand/aica/templatem\\_110\\_lin\\_photo/articulos/2014/Trabajo100\\_AICA2014.pdf](http://www.uco.es/conbiand/aica/templatem_110_lin_photo/articulos/2014/Trabajo100_AICA2014.pdf)
- Rivera-Herrera, J., Molina-Botero, I., Chará-Orozco, J., Murgueitio-Restrepo, E. y Barahona-Rosales, R. (2017). Sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit: alternativa productiva en el trópico ante el cambio climático. *Pastos y Forrajes, 40*(3), 171-183. <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v40n3/pyf01317.pdf>
- Sánchez, G. (2016). Comportamiento productivo de ovinos de engorda en un modelo silvopastoril a base de *Leucaena leucocephala* en Quintana Roo. Instituto Tecnológico de la Zona Maya. Juan Sarabia. [http://www.itzonamaya.edu.mx/web\\_biblio/archivos/res\\_prof/agro/agro-2016-33.pdf](http://www.itzonamaya.edu.mx/web_biblio/archivos/res_prof/agro/agro-2016-33.pdf)

## Propuesta de diseño de un alimentador automatizado para la acuicultura

Oswaldo Vladimir Rodríguez Leal  
Santiago Arceo Díaz  
Elena Elsa Bricio Barrios  
Jesús Alberto Verduzco Ramírez  
Nicandro Farías Mendoza  
Briand Alfredo Sánchez Granada

### Introducción

La crianza de tilapia (*O. niloticus* var. *Stirling*) con fines comerciales es una de las actividades acuícolas de mayor importancia en el mundo (Murillo y Julia, 2017). Desde 2012, la acuicultura ha alcanzado un máximo histórico de producción, proporcionando casi la mitad del pescado destinado al consumo humano (FAO, 2015). Así mismo, en el caso de México, desde 2016 la producción pesquera y acuícola ha superado los 1,7 millones de toneladas, de las cuales, 388 mil son producidas por granjas acuícolas (Imagen Agropecuaria, 2020).

El éxito de la comercialización de tilapia se debe a dos sectores productivos: i) La crianza de ornato para estanques de residencias, restaurantes, acuarios, etc. (Muñoz, 2020); ii) Producto alimenticio cuyo proceso de engorda ha permitido que sectores de bajos recursos dispongan de una fuente económica alterna para reducir el grado de pobreza/necesidades financieras básicas (FAO, 2008). Aunado al beneficio económico, el consumo de la carne de tilapia posee propiedades alimenticias como ácidos grasos Omega-3 que fortalece el músculo cardíaco, proporciona vitamina B, D y E que favorecen el cuidado de la piel, y aporta alta concentración de fósforo y calcio que mantiene fuertes los huesos, entre otros (*El Universal*, 2020).

México es los pocos países del mundo cuya ubicación geográfica permite la crianza y engorda exitosa y permanente de especies acuáticas (INAPESCA, 2018). En la crianza de ornato, se reportó un volumen de ventas de 44,9 toneladas durante 2017 (*Milenio*, 2018), mientras que aquellos acuicultores dedicados a la engorda de tilapia generaron 149,100 toneladas en el mismo año (*El Economista*, 2018).

Dentro del territorio mexicano, Colima es uno de los estados del país cuyas condiciones térmicas e hidrológicas favorecen la engorda de tilapia y con ello la generación de empleo, divisas y bienestar social (INAPESCA, 2018). Según CONAPESCA (2017), Colima reportó que 2,200 familias de pescadores y acuicultores se dedican a esta actividad económica con una producción de ventas de pescados y mariscos por 1,187 millones de pesos al año.

Dada la permanente demanda y alta ventas, ha sido necesario la creación de tanques artificiales para abastecer la demanda de este producto alimenticio (Coba, 2018) y, dado que la engorda ha sido estandarizada, la ONU (2017) reportó las artes de cultivo para la tilapia donde se recomienda la geometría de estanques, condiciones de operación y de clima, entre otros. Mientras que, la Carta Nacional Acuícola (2018) hace referencia al monitoreo de los intervalos de calidad de agua,

como oxígeno disuelto, temperatura, pH, dureza, compuestos nitrogenados, entre otros, los cuales permitirán al acuicultor obtener lotes cuyo peso y talla son considerados como aceptables para su distribución y venta.

Aunado al monitoreo y control de los parámetros de calidad de agua de los estanques de engorda, la alimentación de la tilapia representará el éxito o fracaso del lote. Por ejemplo, si un acuicultor no realiza el proceso de distribución de alimento, el pez perderá peso ya que consumirá sus fuentes de grasa y proteína para mantener sus signos vitales (McGraw *et al.*, 2001). Si la ración es de mantenimiento, la tilapia mantendrá su peso y talla, involucrando pérdidas económicas (Manual de Prácticas, 2007). En cambio, si es sobrealimentado, el pez consumirá el alimento y a través de sus heces fecales y orina generará compuestos nitrogenados los cuales tornarán tóxico el medio acuático; además de favorecer el crecimiento de algas que competirán por el oxígeno disuelto en el agua, provocando la hipoxia y efectos asociados como inhibición de crecimiento, irritabilidad del sistema nervioso, pérdida de color en las aletas, destrucción branquial y mortandad de la tilapia (Programa Nacional de Tilapia, 2004). Por tanto, es de interés la propuesta de dispositivos capaces de proveer alimento a la tilapia durante el proceso de engorda bajo dos objetivos: maximizar la tasa de sobrevivencia y alcanzar el peso y talla aceptable del producto para su distribución y venta.

Esta problemática ha sido abordada a través de la incorporación de sistemas de dosificación basados en la densidad de población en el interior del estanque, tiempo de residencia de la tilapia y condiciones de operación de sistema de crecimiento, valores que se encuentran disponibles en los bultos o costales de alimento o reportado por Programas Federales Acuícolas (Manual de Crianza de Tilapias, 2010).

A escala artesanal, el sistema de alimentación es realizada por los acuicultores, quienes distribuyen el alimento cada hora a los estanques de alimentación, y cuya escala de medida de volumen de croquetas es determinado al llenarse un envase de botella plástica (Coba, 2018). Si bien, esta estrategia de trabajo ha mostrado ser útil, este procedimiento es rudimentario, tedioso y poco preciso, tornando este procedimiento un problema que pueda ser abordado a través de la creación de un sistema automático de alimento donde el usuario solo introducirá el alimento y programará los periodos de alimentación.

El diseño y construcción de alimentadores automáticos para tilapia no es un tema nuevo, estos dispositivos pueden adquirirse en tiendas especializadas y su desempeño ha mostrado ser alternativas confiables durante la engorda (Coba, 2018). De los dispositivos disponibles, los de tipo péndulo, capaces de abastecer alimento a estanques de dimensiones de 10x20 m, tienen una geometría de una tolva donde el alimento desciende por gravedad y a través de un microcontrolador es posible programar el volumen y periodos de dosificación que va desde los 10 hasta los 60 kg (Zarazua, 2018).

Aunque la construcción y costo de estos prototipos tienen un precio accesible, para la mayoría de los acuicultores el alimentador de tipo péndulo está limitado porque al estar anclado a un punto, el alimento descenderá en un área restringida y solo aquellas tilapias que se encuentren dentro de la vecindad serán alimentadas. Mientras que, el resto de la población no tendrá acceso al alimento fomentando conducta caníbal entre ellas (García y Zaniboni, 2006).

Dado que es de importancia proveer a los acuicultores las herramientas necesarias para que realicen el proceso de engorda de tilapia de forma adecuada para que su producción sea exitosa, este trabajo propone el diseño de un alimentador automatizado para la distribución del alimento en los estanques de tilapia. Este prototipo está planeado para implicar un costo menor respecto a

dispositivos automáticos que se encuentran disponibles en el mercado. Además, se planteó la creación de un dispositivo compacto, facilitando su portabilidad e instalación, a la par de asegurar la dosificación alimenticia necesaria para los especímenes de tilapia.

## Metodología

Como banco de trabajo, se realizó una serie de visitas a la granja acuícola «Sanbuenaventura» ubicada en el ejido de Sanbuenaventura, en el municipio de Manzanillo en el estado de Colima, México. Dentro del levantamiento de datos en la granja acuícola se realizó una entrevista para conocer el proceso de crianza, engorda y reproducción de tilapia, donde los acuicultores eligieron el tanque de engorda debido a que esta actividad les provee mayor derrama económica respecto a las tilapias de ornato.

Al determinar las necesidades consideradas como prioritarias por los acuicultores entrevistados, se procedió al diseño del prototipo a través de Solidworks. Este software ha sido empleado en el diseño de prototipos fijos y portables para el monitoreo de parámetros de calidad de agua, en tiempo discreto y real, en granjas acuícolas en el estado de Colima (Olivo *et al.*, 2018; Verduzco *et al.*, 2019; Barajas *et al.*, 2020) mostrando alto desempeño en operatividad, portabilidad y bajo costo respecto a dispositivos comerciales.

Para establecer el diseño externo del alimentador, se tomó como base de trabajo el alimentador de tipo péndulo y, basado en las desventajas de este dispositivo, se realizaron algunas mejoras. Por ejemplo, se diseñó un vehículo que en lugar de desplazarse con llantas o una boya, estará acoplado a unos travesaños ubicados a 50 cm sobre el tanque de engorda donde el vehículo se desplazará libremente dentro de una trayectoria preasignada por los travesaños. Por otro lado, se diseñó un tornillo sinfín que al girar, el movimiento constante, favorecerá el desplazamiento del alimento en el interior de la tolva y así se evitará aglomeraciones/estancamiento de las croquetas.

Finalmente, para la automatización del sistema de dosificación, se incorporó un microcontrolador de bajo costo capaz de realizar una serie de instrucciones básicas como: i) Permitir ser programado por el acuicultor para la liberación controlada de alimento, ii) Favorecer la dosificación homogénea alrededor de todo el estanque, y iii) Reducir las perturbaciones en el agua superficial del estanque y así, evitar estrés a las tilapias.

## Resultados

### *Recolección de datos acuícolas*

Estos estanques tienen forma rectangular con un área de 12x20 m<sup>2</sup> y una altura de 1 m, y suelen albergar alrededor de 360 especímenes (Según el cálculo de 12\*1\*10) por ciclo de crianza (Zamorano, 2001). De acuerdo al número de especímenes, cada estanque requiere un promedio de 5 kg diarios, dosificados en aproximadamente 200 g por hora.

Utilizando los datos anteriores, se optó por un dispositivo compacto que al ser accionado permitiera dosificar de forma automática el alimento destinado a los especímenes en los tanques de engorde. El prototipo tiene la capacidad de almacenar hasta 300 g dentro de un contenedor,

permitiendo un margen de 50 % respecto a la dosis promedio por hora. Adicionalmente, la velocidad con la que el alimento es dosificado puede controlarse al regular la velocidad de rotación de un pequeño motor, encargado del movimiento de la comida desde el depósito de almacenamiento hasta la superficie del estanque.

A diferencia de muchos de los dispositivos existentes en el mercado, el prototipo descrito en este trabajo puede desplazarse sobre la superficie del estanque distribuyendo el alimento de forma continua a medida que se mueve desde uno de los bordes laterales del estanque hasta el extremo opuesto. Para este fin, se utiliza un travesaño con sección transversal semicircular hecho de cloruro de polivinilo (PVC) (ver Figura 1).

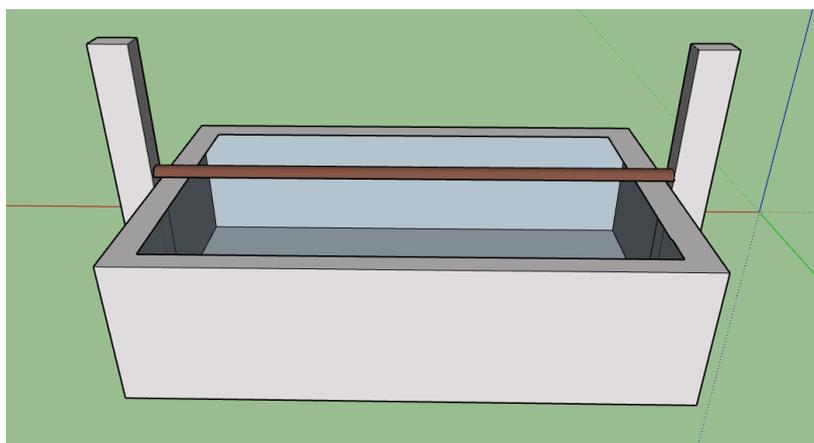


Figura 1. Representación del Estanque en el que se muestra el travesaño sobre el que se desplaza el prototipo.

### *Propuesta*

Se optó porque el prototipo se desplazara sobre una superficie sólida, colocada a unos centímetros del estanque, para evitar el estresar a los especímenes dentro del tanque con el ruido o movimiento resultante del desplazamiento de un prototipo que entrara en contacto con la superficie. El prototipo utiliza un motor para mover la comida desde su tanque de almacenamiento hasta la superficie de curvatura positiva del travesaño semicircular que cae desde ahí hasta la superficie del estanque. De acuerdo a esto, el prototipo cuenta con cuatro ruedas con la geometría de cono truncado que se adapta a la curvatura positiva del travesaño (ver Figura 2).

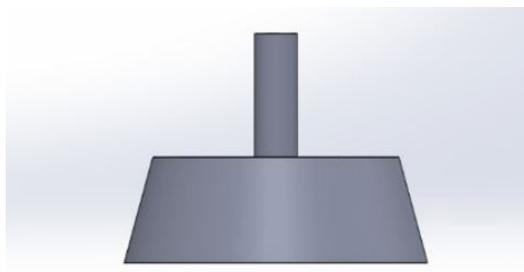


Figura 2. Vista lateral y en ángulo de las llantas del prototipo (creación propia).

El chasis del prototipo puede observarse en el panel izquierdo de la Figura 3, dentro del cual se albergan los componentes electrónicos y mecánicos y sobre el que se apoya el contenedor de alimento. La cara superior del contenedor está abierta, lo que permite el vaciado del alimento antes de cada sesión (ver panel derecho de la Figura 3).

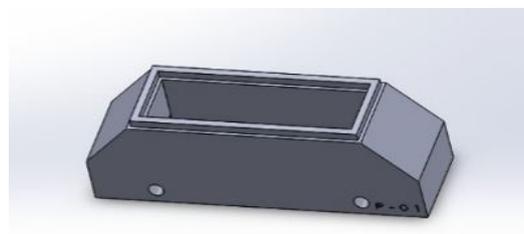


Figura 3. Vistas en ángulo del chasis (izquierda) y del contenedor de alimento (derecha)

La dispersión de la comida se realiza a través de un tornillo que se aloja en el interior del chasis, alineado a su eje lateral de mayor longitud y sujeto en uno de sus extremos a un pequeño servo motor que puede ajustar el sentido de giro del tornillo de acuerdo a su polaridad (la cual dependerá del desplazamiento del prototipo a lo largo del travesaño). En el extremo opuesto, el tornillo está sujeto a un balero que ofrece un punto de apoyo con rotación libre (Figura 4). La comida que sea desplazada por el tornillo, saldrá del chasis por dos pequeñas aberturas en su base alineadas con los extremos del tornillo.



Figura 4. Vistas del contenedor para el tornillo dentro del chasis (izquierda) y del tornillo de paso simple usado para desplazar el alimento del contenedor a la superficie del estanque (derecha).

El modelo del prototipo completamente ensamblado puede verse en la Figura 5. El alimentador conforme se vaya deslizando, irá soltando el alimento para que caiga al estanque de forma recta en su recorrido, la velocidad de dispersión del alimento se ajustará de acuerdo la cantidad de 200 g de alimento que soportará el contenedor del aparato.



Figura 5. Vista lateral (izquierda) y frontal del dispositivo armado.

#### *Descripción del controlador*

Los microcontroladores PIC tienen terminales de entrada/salida divididos en puertos que se encuentran alfabéticamente A, B, C, D, etc. Cada puerto puede tener hasta ocho terminales que, de forma básica, se comportan como una entrada/salida digital. Además, cada puerto puede tener asignado un bloque funcional, desde convertidores AD, USART, I2C, entre otros. Considerando los puertos independientes, se pueden programar cada terminal del puerto para que se comporte ya sea como entrada o como salida digital. En este caso, el que se utilizó fue el 16F877 que tiene un CPU de alto rendimiento, stacks de hardware de ocho niveles, timers, hasta 38x8 bytes de memoria RAM, 256x8 bytes de memoria EEPROM y protección de código programable.

Por otra parte, por la gran capacidad que ofrece este PIC a muy bajo costo es de los principales pilares para que el mismo prototipo pueda trabajar de manera eficiente. De igual forma, la

facilidad de uso y manejo, el bajo consumo de energía requerido y la variabilidad que cada puerto nos puede ofrecer, como en el caso del puerto B que es donde se emitirán las señales para los motores, ya viene integrado un modelo de Pull ups, lo que evita el costo y espacio en el arreglo de resistencias que realiza esa función.

### *Descripción de los motores*

Se conoce como motor reductor a una máquina muy compacta que combina un reductor de velocidad y un motor, los cuales van unidos en una sola pieza y se usa para reducir la velocidad de un equipo de forma automática. Se optó por utilizar el motor reductor de doble eje tipo I para el movimiento del vehículo y un motor de corriente directa de 3 a 6 V para únicamente el funcionamiento del tornillo de paso. En cuestión del motor reductor, siendo este posible trabajar desde 3 a 12 V, podemos optimizar el consumo de energía para alimentar ambos motores y, a su vez, mientras menos corriente obtenga las RPM serán mayores de 200, además de que se manipulará mediante el microcontrolador. Por otra parte, el motor de corriente DC, siendo este igual de 3 a 6 V teniendo unas RPM máximas de 11,500, es posible variarlas con la cantidad de corriente que se alimente y a su vez controlando los pulsos con el PIC. De igual forma, ambos motores sin torque consumen 70mA y con un torque máximo consumen 800mA.

Mediante el compilador CCS, el cual convierte lenguaje de alto nivel a instrucciones en código máquina y es compatible con el PIC utilizado, se mandarían las señales digitales de ON/OFF mediante el puerto B una vez ya activados lo Pull ups mandando la señal en la misma programación de nuestro microcontrolador. Posterior llega la señal a nuestro módulo L293D el cual es puente H de doble entrada y salida que se encarga de accionar el giro de nuestros motores, en el caso de los dos motores reductores, la señal que emita será la misma para ambos motores, puesto que cada motor controlará cada eje delantero y trasero, y como son de doble eje, es más práctico hacer avanzar el vehículo de manera uniforme. Este avanzará hasta llegar a un cierto punto marcado ya en la programación con la relación de  $RPM * distancia$  y, una vez llegando ahí, se emitirán ceros en las entradas del módulo del puente H de los motores reductores, hasta que vuelva a comenzar nuevamente la orden. En ese caso, regresará de la misma manera y lo único que se cambian son los pulsos para invertir el giro de los motores reductores nuevamente hasta llegar al punto ya programado.

En el caso del motor independiente que acciona el tornillo de paso, también se utiliza el módulo L293D para manipular el cambio de giro, en el cual las entradas estarán conectadas al puerto B del PIC. El único cambio es que cuando el prototipo avance hacia cierta dirección, en el programa se mandarían pulsos al puente H de tal forma que gire en sentido contrario al desplazamiento para que expulse los pellets sin que estos interfieran en las llantas del modelo. De igual forma, mediante la programación se regularán los pulsos que reciba cada motor para poder controlar más las RPM de cada uno sin necesidad de usar transistores extras. En cuanto los motores reductores se detengan, se manda el pulso cero al motor del tornillo de paso y una vez vuelva a arrancar el vehículo, el motor del tornillo de paso se activa en dirección contraria y así de manera cíclica. Todo esto será suministrado mediante las baterías, las cuales se pondrán en paralelo para así obtener una mejor distribución de energía, ya que el módulo del puente H y el PIC se deben alimentar con 5 V cada uno, mientras que los motores se alimentarán con 3 V cada uno. Además de que se disponen

3 V extra que nos brinda el microcontrolador, el cual será utilizado para el motor del tornillo de paso para lograr suministrar todo de manera eficiente. Por otra parte, las baterías se irán cargando mediante un panel solar de 1 W el cual irá conectado con las pilas para estar en constante carga y así poder seguir laborando durante la noche/madrugada.

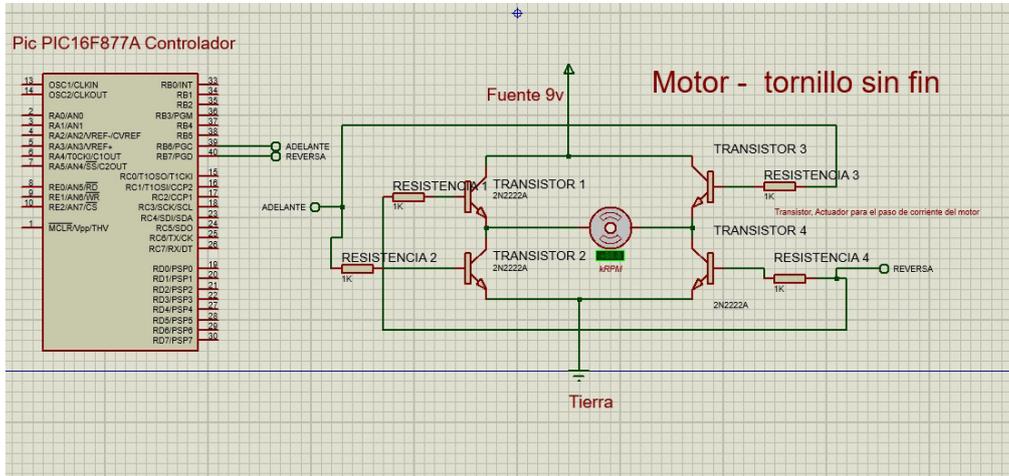


Figura 6. Conexiones electrónicas.

## Conclusiones

Debido a las restricciones de la contingencia resta todavía probar el desempeño del prototipo físico una vez instalado en algunos de los estanques de engorda. Una vez aplicado este modelo en la realidad, se evaluará si el ahorro en alimento es significativo y cómo es la respuesta de los especímenes a la nueva estrategia de alimentación y su tasa de crecimiento. También se implementarán tanques de alimentación ubicados a ambos extremos del travesaño, de forma que puedan utilizarse para rellenar automáticamente el depósito del prototipo después de cada uno de sus recorridos. Asimismo, se está trabajando en una versión del prototipo que sea capaz de registrar los datos relacionados con la oxigenación y temperatura del agua y que los utilice para regular la velocidad y frecuencia de las sesiones de alimentación.

## Bibliografía

- Bricio Barrios, E., Figueroa Millán, P., Arceo Díaz, S., De Dios, J., Corona, B., Verduzco, A. y Chávez Valdez, R. (2020). Sistema de notificación en tiempo real de la calidad del agua en granjas de camarón Barajas. [https://www.researchgate.net/profile/elena\\_bricio\\_barrios/publication/343050332\\_sistema\\_de\\_notificacion\\_en\\_tiempo\\_real\\_de\\_la\\_calidad\\_del\\_agua\\_en\\_granjas\\_de\\_camaron/links/5f135ebf92851c1eff1c56ca/sistema-de-notificacion-en-tiempo-real-de-la-calidad-del-agua-en-granjas-de-camaron.pdf](https://www.researchgate.net/profile/elena_bricio_barrios/publication/343050332_sistema_de_notificacion_en_tiempo_real_de_la_calidad_del_agua_en_granjas_de_camaron/links/5f135ebf92851c1eff1c56ca/sistema-de-notificacion-en-tiempo-real-de-la-calidad-del-agua-en-granjas-de-camaron.pdf)
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). (2015). La acuicultura. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/8126La%20acuicultura.pdf>
- Coba, J. y Hernández, B. (2018). *Implementación de un sistema autónomo inalámbrico para la alimentación de tilapia, basado en supervisión de variables climáticas y control de calidad de agua* [Tesis de Licenciatura]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Ecuador. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9245/1/108T0266.pdf>
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA). (2017). CONAPESCA y Gobierno del Estado de Colima instalan Consejo Estatal de Pesca y Acuicultura Sustentables. <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/conapesca-y-gobierno-del-estado-de-colima-instalan-consejo-estatal-de-pesca-y-acuicultura-sustentables>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2008). Acuicultura. <http://www.fao.org/aquaculture/es/>
- García, V. y Zamboni, E. (2006). El canibalismo en la larvicultura de peces. *Revista MVZ Córdoba*, 11(1), 9-19. <https://www.redalyc.org/pdf/693/69309902.pdf>
- Garduño, B. (20 de abril de 2020). Beneficios de consumir mojarra. *El Universal*. <https://www.eluniversal.com.mx/menu/los-beneficios-de-la-tilapia-o-mojarra-y-su-produccion-en-mexico>
- Imagen Agropecuaria. (2017). Genera pesca y acuicultura 35 mil 620 mdp para economía de México. *Imagen Agropecuaria*. <https://imagenagropecuaria.com/2017/genera-pesca-acuicultura-35-mil-mdp-economia-mexico/>
- ITAM, CONAPESCA, CANAINPESCA, Centro de Estudios de Competitividad. (s.f.). Programa Maestro Nacional de Tilapia. [https://cadenasproductivas.conapesca.gob.mx/pdf\\_documentos/comites/csp/Programa\\_Maestro\\_Nacional\\_Tilapia.pdf](https://cadenasproductivas.conapesca.gob.mx/pdf_documentos/comites/csp/Programa_Maestro_Nacional_Tilapia.pdf)
- McGraw, W., Teichert-Coddington, D., Rouse, D. y Boyd, C. (2001). Higher minimum dissolved oxygen concentrations increase penaeid shrimp yields in earthen ponds. *Aquaculture*, 199 (3-4), 311-321. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00530-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00530-0)
- Meyer, D. y Meyer, S. (2001). Producción de tilapia en fincas integradas utilizando insumos de bajo costo. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/3990/1/01.pdf>
- Muñoz Córdova, G. (2020). *Orígenes, productividad y manejo*, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Veracruz, México. [https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/centros/ceiegt/archivos/Manual\\_Pargo\\_UNAM.pdf](https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/centros/ceiegt/archivos/Manual_Pargo_UNAM.pdf)
- Murillo Arteaga, J. (2017). *Plan de negocios para la venta de alevines de tilapia gris (Oreochromis niloticus) y tilapia roja (Oreochromis sp.) en la Unidad de Acuicultura Daniel E. Meyer Zamorano, Honduras* [Tesis de Licenciatura]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5961/1/AGN-2016-T034.pdf>

- NICOVITA. (s.f.). Manual de crianza de tilapias. <http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf>
- Olivo Gutiérrez, M., Verduzco Ramírez, N., García Díaz, N., Villalobos Gómez, J., Olivo Gutiérrez, A. (2018). Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón. *Científica*, 22(2), 87-95. [http://www.cientifica.esimez.ipn.mx/manuscritos/V22N2\\_087\\_095.pdf](http://www.cientifica.esimez.ipn.mx/manuscritos/V22N2_087_095.pdf)
- SEMARNAT (2018). Engorda de mojarra Tilapia (*Oreochromis niloticus*) y mojarra castarrica (*Cichlasoma Uropthalmus*) en tanques circulares en Atasta, Municipio del Carmen, Campeche. <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/camp/estudios/2008/04CA2008PD054.pdf>
- Soto, G. (2017). *Desarrollo de un sistema de monitorización y control de OD, temperatura y alimentación configurable para cultivo intensivo acuícola* [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México. <http://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/557/1/RI003794.pdf>
- Téllez Castañeda, M. (12 de marzo de 2019). Perspectivas en la industria del cultivo de tilapia en México (II). *El Economista*. <https://www.economista.com.mx/opinion/Perspectivas-en-la-industria-del-cultivo-de-tilapia-en-Mexico-II-20190312-0128.html>
- Verduzco Ramírez, J., Figueroa Millán, P., Barajas Corona, J., Bricio Barrios, E. y Benavides Delgado, J. (2019). Dispositivo portátil para monitoreo de calidad del agua en granjas acuícolas de camarón. *Revista Ingeniantes*, 2(2), 54-59. <https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes6no2vol2/8.%20Dispositivo%20Port%C3%A1til%20para%20Monitoreo%20de%20Par%C3%A1metros%20de%20Calidad%20del%20Agua%20en%20Granjas%20Acu%C3%ADcolas%20de%20Camar%C3%B3n.pdf>

## ***ALLIUM SATIVUM* Y *CUCURBITA MAXIMA* como antiparasitarios gastrointestinales en guajolotes hembras autóctonos**

Aureliano Juárez Caratachea  
María Dolores Claudia Guzmán Lara  
Carlos Alberto Villalba Sánchez  
Ernestina Gutiérrez Vázquez  
Ana Celestina Juárez Gutiérrez  
Adrián Hernández Sánchez

### **Introducción**

El guajolote (*Meleagris gallopavo*) es el primer animal domesticado en Mesoamérica. Los datos indican que esto ocurrió hace unos cuatro o cinco mil años en la parte sur del Altiplano y de ahí se dispersó en todas direcciones (Valadez *et al.*, 2001), por ello se dice que el pavo es un regalo de México para el mundo (Crawford, 1992). Hacia 3500 a 1800 antes del presente, el guajolote ya había alcanzado un especial valor como fuente de carne, pues sus restos aparecen frecuentemente entre los materiales de lo que algún día fueron aldeas y centros periurbanos (Valadez *et al.*, 2001). Sin embargo, poco se conoce acerca de los parásitos gastrointestinales que afectan al guajolote nativo mexicano.

En México, la cría de gallinas criollas y guajolotes nativos son componentes de la llamada avicultura de traspatio, actividad importante en las comunidades rurales del país, ya que genera productos de alto valor nutritivo como carne y huevo (Cisneros, 2003; SAGARPA, 2007). Sin embargo, bajo las condiciones de este sistema de producción en libertad, las aves domésticas son susceptibles de ser infectadas por parásitos internos al levantar el alimento del suelo, tener contacto directo con otras especies domésticas y silvestres, así como con sus respectivas excretas o restos de estas, por lo que puede asegurarse que muy pocas aves estarán totalmente libres de parásitos gastrointestinales (Moreno, 1989).

La alimentación de las gallinas y guajolotes en el sistema tradicional o de traspatio es variada, conociéndose dos orígenes: la que suministran los criadores y las que recolectan las aves en las áreas que recorren. En relación con esto, Ramos-Elorduy (2002) menciona que los insectos son una fuente fundamental de proteína para las aves. Esta parvada de traspatio consume los granos que les proporciona el dueño, más desperdicios de la cocina, además hierba, insectos y larvas que libremente recolectan, lo que aumenta el riesgo de una endoparasitosis (Ravindran, 2013).

Fraga y colaboradores (1993) señalan que las aves criollas poseen tolerancia y adaptación al medio, así como resistencia a diversas patologías sin empleo de medicamentos, drogas o vacunas, registran bajos rendimientos pero consumen menos alimento. En la actualidad se intenta producir con respeto al medio ambiente de modo sustentable, disminuyendo el uso de sustancias químicas como antibióticos, promotores de crecimiento, arsenicales, coccidiostatos, y otros desparasitantes

por lo que alternativamente se han señalado productos naturales como el ajo (*Allium sativum*) y las semillas de calabaza (*Cucurbita maxima*) (Cárdenas *et al.*, 2008; Jacob y Pescatore, 2011).

El ajo (*Allium sativum*) es originario de Siberia y cultivado en Asia central, diseminado por las tribus nómadas, se ha cultivado y usado en todas las culturas desde hace más de 5,000 años, y fue introducido en América en el siglo XV (Cáceres, 1996). Es una planta herbácea con bulbos divididos de unos 50 cm de altura. La planta produce flores entre rosado y morado entre los meses de julio a septiembre. El bulbo es odorífero. Sobre el bulbo basal, que va cubierto de raíces, se dispone el principal alrededor del cual están los llamados dientes de ajo (CIMED, 2002).

En estudios realizados en terneros menores de un año, se ha observado el efecto desparasitante; las soluciones de ajo fueron efectivas para los géneros *Strongyloides* spp. y *Moniezia* spp. (Sobalvarro, 2006). Desde el punto de vista terapéutico, el principal componente del ajo es la alicina que se forma cuando se tritura o fractura el bulbo transformándose la aliína en alicina por acción de la enzima aliinasa. La alicina es un compuesto azufrado que posee diversas actividades farmacológicas de interés, su nombre sistemático es ácido 2-propeno-1-sulfinotioico S-2-propenil éster, mismo que es usado para desparasitar (Guimerans, 2005). Este compuesto le da al ajo las cualidades antimicrobianas, antioxidantes, antiparasitarias y antifúngicas, entre otras. Otro compuesto como el alilsulfuro contribuye también en el efecto antiparasitario (Hall, 2002).

Otra propiedad bien estudiada del ajo es el efecto anticoccidial; estudios realizados en Carolina del Norte (EE. UU.), demostraron en cabras adultas la disminución en la carga parasitaria de ooquistes de *Eimeria*, por medio del uso de soluciones de diferente volumen (2.5 ml, 5 ml y 10 ml); otro estudio realizado en ratones de ocho a nueve semanas de edad, demostró que la solución de ajo en dosis de 20 mg/kg, disminuyó la carga parasitaria y la inflamación y lesiones causadas por *Eimeria papillata* (Worku *et al.*, 2009). También se ha determinado el efecto coccidiostato del ajo en conejos jóvenes de cuatro a seis semanas inoculados con *Eimeria stiedae*, en donde los bulbos fueron triturados y administrados oralmente a una dosis diaria de 0.5 g/kg durante cinco días sucesivos (Ashmawy, 2010).

La mayoría de las calabazas que se consumen en el mundo tiene su origen en especies domesticadas en México, todas pertenecen al género *Cucurbita*, es la primera planta cultivada en Mesoamérica hace unos 10 mil años. Con la domesticación se disminuyó el sabor amargo de la calabaza silvestre, en la actualidad existen muchas variedades de *Cucurbita*, como la *C. pepo*, *C. mostacha*, *C. maxima*, entre otras. De esta planta se aprovecha el fruto, la flor, la semilla y el tallo, y los conquistadores la dispersaron por el mundo (Vela, 2019). La misma fuente señala que, las semillas, también llamadas pepitas, representan una fuente de proteína.

Abreu y colaboradores (2001), al estudiar los parámetros farmacognósticos de las semillas crudas de calabaza para emplearlas como antiparasitario, encontraron que la cucurbitina es el principio activo que actúa sobre las tenías. En relación con esto, Díaz y sus colegas (2004) observaron que las tenías de perros y ratas tratadas con 23 g de semilla de calabaza molidas y diluidas en 100 ml de agua (73 semillas), detenían la motilidad y que, a los 38.4 minutos postratamiento, se presentaba un efecto proteolítico en los helmintos.

Asimismo, Lemus-Mandioca y colaboradores (2019) coinciden en que las semillas de calabaza contienen cucurbitacina o cucurbitina, un principio activo de tipo alcaloide con propiedades vermífugas desparasitantes. Las semillas de calabaza paralizan los gusanos que parasitan el intestino, como la solitaria y los áscaris. Una vez inmovilizado y suelto de la pared intestinal a la cual se adhieren, resulta fácil expulsarlo. Además, resultan nutritivas por su contenido de vitamina E, ácido linoleico, zinc y hierro.

En relación con las enfermedades parasitarias, de acuerdo con Bocha (1982), el parasitismo es un tipo de asociación interespecífica entre dos seres vivos en el que el beneficio es exclusivamente unilateral, denominándose parásito al ser que resulta beneficiado de esta simbiosis o vida conjunta, y hospedador al organismo afectado por esta vida de asociación. Es decir, un animal parásito es aquel que vive a expensas de un individuo de otra especie, estrechamente asociado a los aspectos biológicos y ecológicos durante uno o parte o la totalidad de sus ciclos biológicos (Quiroz, 2011).

La forma de vida parasitaria tiene por lo general capacidad de sobrevivencia, por lo cual, sin importar las líneas filogenéticas, se presenta en todos los *Phyla* que comprenden el reino animal (protozoos, nematodos, platelmintos). Según Aguilar (1992), existen modalidades de relación entre dos especies diferentes que a su vez causan un beneficio o daño que se definen por su tipo de relación, a saber: simbiosis (viven juntos), predación (uno se beneficia del otro), foresis (viajan juntos sin dependencia), mutualismo (beneficio mutuo), comensalismo (beneficio de uno sin daño en el otro) y parasitismo (cuando un simbiote lesiona realmente a su huésped, tanto físico, tóxico, interno o externo, con diferente grado de incidencia y preferencia por estructuras específicas) (Quiroz, 2011).

En síntesis, el parasitismo no es otra cosa que una forma más de obtener energía del sistema, que cumplirá con las funciones vitales y cubrirá las necesidades de una especie. Por lo que es importante tener en mente las causas más conocidas de enfermedades parasitarias, además del grado y particularidades de las mismas, a fin de tener un panorama más amplio sobre las relaciones parasitarias (Pérez, 1992). Los parásitos pueden clasificarse de acuerdo con sus ciclos de vida y posición sobre el hospedador (Sumano y Gutiérrez, 2010).

De acuerdo con Jiménez (2010), al estudiar las parasitosis gastrointestinales en guajolotes de traspatio en el estado de Michoacán, observó que 12 de los 50 intestinos examinados presentaron parásitos adultos, tales como *Ascaridia galli*, *Heterakis gallinarum* y *Strongyloide*. Además, las siguientes frecuencias de huevecillos: 13.7 % de *Eimeria spp*, 13.7 % de *Capilaria*, 9.6 % *Heterakis gallinarum* y 1.4 % de *Stroglyoides*. Los hallazgos anteriores coinciden con la relación de parásitos gastrointestinales señalados por Quiroz (2011).

Con base en los antecedentes señalados, en los que se destacan los parásitos gastrointestinales diagnosticados en otras investigaciones y las propiedades del ajo (*Allium sativum*) y la semilla de calabaza (*Cucurbita maxima*) como antiparasitarios, es factible que el uso de estos productos naturales reduzca la cantidad de parásitos gastrointestinales en guajolotes de traspatio. Por lo que el objetivo del presente estudio consistió en evaluar el efecto del ajo y las semillas de calabaza como antiparasitarios gastrointestinales en guajolotes de traspatio.

## Material y métodos

El presente estudio se realizó de diciembre de 2019 a enero de 2020, en el sector avícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), ubicada en el km. 9.5 de la carretera Morelia-Zinapécuaro, municipio de Tarímbaro, al norte del estado de Michoacán, en las coordenadas 19°48' de latitud Norte y 101°10' de longitud Oeste, a una altura de 1,860 msnm. Limita al Norte con los municipios de Copándaro y Cuitzeo, al Este con Álvaro Obregón, al Sur con Morelia y Charo, y al Oeste con Chucándiro (INEGI, 2009).

Para el trabajo experimental se utilizaron 30 guajolotes hembras nativas adultas, provenientes de distintas localidades del municipio de Tarímbaro, Michoacán, las cuales fueron distribuidas aleatoriamente en tres tratamientos (T) con 10 ejemplares cada uno: en el T0 (testigo) se aplicó antihelmíntico comercial, vía oral, dosis única como se establece en la posología del fármaco, el T1 recibió 2 g de ajo, vía oral, diariamente y el T2 recibió 30 g de semillas de calabaza (sin cutícula)/ animal, directo al pico, los T1 y T2 fueron administrados por un período de siete días.

En el presente trabajo, cada guajolota representó una unidad experimental, las cuales fueron alojadas en jaulas individuales con dimensiones 90x90x90 cm (largo, ancho y alto respectivamente, especiales para gallos de combate), colocadas sobre bases de malla de harnero; cada hembra se identificó con una banda plástica numerada, colocada en el tarso derecho.

El pesaje de los tratamientos naturales se realizó en una báscula digital, con precisión de 0.01 g. El corte del ajo se hizo con ayuda de un cúter y las semillas de calabaza se compraron sin cutícula. Para la recolección de excretas fueron colocadas bolsas de plástico bajo las jaulas donde se alojaban las guajolotas y, para la recolección de las muestras, se usaron pequeñas bolsas de plástico numeradas con el número del ave y el tratamiento correspondiente. El primer muestreo se realizó pretratamiento para diagnosticar la frecuencia de parasitosis entre los ejemplares experimentales, en tanto que los muestreos postratamientos se llevaron a cabo con intervalo de dos días por medio, es decir, los días tres, seis y nueve, el mismo día de muestreo las excretas fueron enviadas al Laboratorio de Parasitología de la Unidad de Servicios Auxiliares para el Diagnóstico (USAD), de la FMVZ de la UMSNH, para su análisis coproparasitoscópico, cuantitativo y cualitativo, con la técnica denominada flotación para buscar huevecillos, cuyos pasos básicos se mencionan a continuación (Serrano, 2010).

Con la ayuda de un agitador se tomaron 2 g de cada muestra de heces y se colocaron en un recipiente de plástico.

- I. A los 2 g de la muestra se adicionó solución glucosada hasta ablandarla.
- II. En un vaso de precipitado se midieron 50 ml de solución glucosada, se transfirieron al recipiente de plástico y se agitaron hasta que las heces queden suspendidas en forma homogénea.
- III. Se vació el contenido del recipiente a través de un colador, colocado sobre el vaso de precipitación de 50 ml y con el agitador se comprimió cuidadosamente el exceso de líquido de las heces sobrantes en las mallas.
- IV. Se agitaron lentamente las heces haciendo oscilar el vaso y luego se vació la mezcla dentro del tubo de ensayo, llenándolo hasta cerca del borde.
- V. Se puso a centrifugar durante 10 minutos a 1500 rpm.
- VI. Con un gotero se extrajo la muestra de la superficie del tubo y se depositó en el portaobjeto, luego fue cubierto con el cubreobjetos.
- VII. Posteriormente se observó en el microscopio con lente de 10x.

Los datos obtenidos se procesaron estadísticamente mediante estadística descriptiva, para calcular promedios y desviación estándar del número de huevecillos de los parásitos diagnosticados. Finalmente, los resultados fueron condensados en cuadros y gráficas para su posterior análisis y discusión.

## Resultados y discusión

Los resultados de la Tabla 1 indican que el 100 % de las guajolotas muestreadas resultaron positivas en los exámenes coprológicos realizados, con un promedio superior a 2,000 ooquistes de *Eimeria spp* por g de heces. La coccidiosis es una enfermedad parasitaria de importancia mundial por sus efectos negativos en la producción y el retraso en el desarrollo de las aves; la Eimeria es un parásito que causa daño tisular en el intestino, alterando la absorción de nutrientes y produciendo diarreas de diferentes grados y descenso en la producción (Cervantes y Hon, 2018).

La misma fuente, indican que la coccidiosis puede estar presente en dos formas: clínica o subclínica, siendo esta última la más común y difícil de diagnosticar ya que clínicamente las aves parecen estar sanas. En relación con lo anterior, Elanco Spain (2019) menciona que, en una interpretación relativa del recuento de ooquistes, menos de 10,000 por g de heces equivale a no significativo, a menos que la evaluación de lesiones por coccidiosis diga lo contrario. Los promedios de ooquistes en la presente investigación son superiores a 2,000 (Tabla 1), por lo que se pueden clasificar como coccidiosis subclínica y, por lo tanto, no significativa según esta fuente.

**Tabla 1**

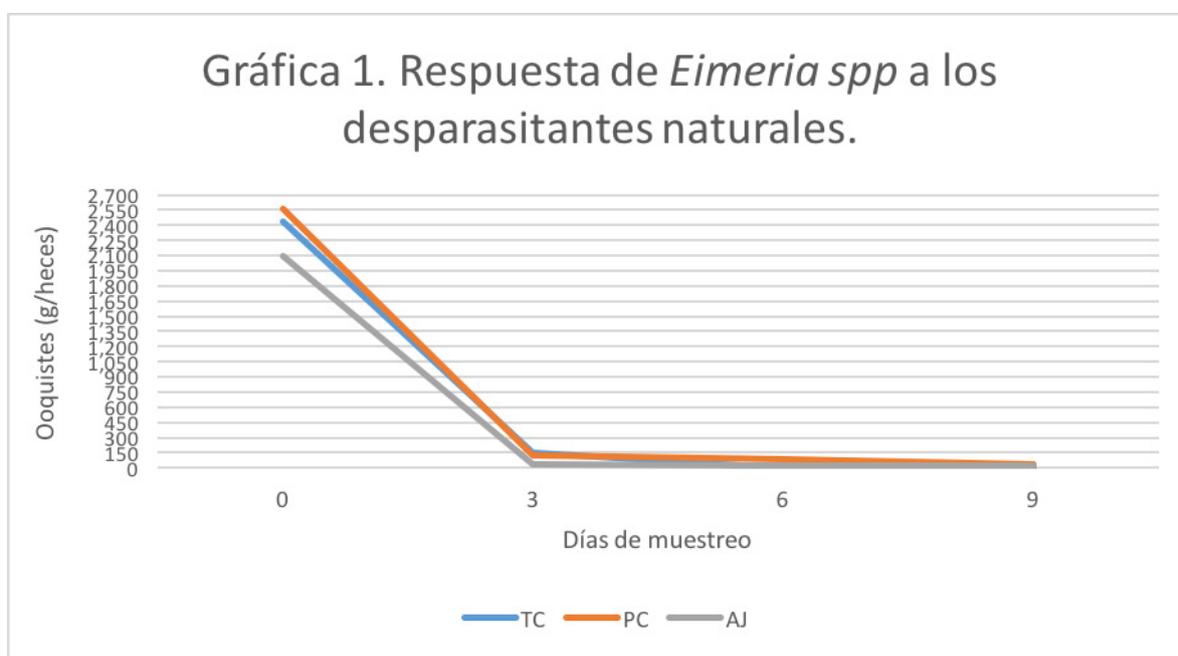
Determinación de huevecillos de endoparásitos por g/heces en guajolotas de traspatio por grupo tratado.

TRATAMIENTOS			
Parásito diagnosticado	Tratamiento comercial	<i>Cucurbita maxima</i>	<i>Allium sativum</i>
<i>Eimeria spp.</i> 100 %	2,430 ± 1702	2,568 ± 916	2,094 ± 814
<i>Capillaria spp.</i> 46.6 %	220 ± 228	100 ± 173	140 ± 313

En la misma Tabla 1 se señala que el 46.6 % de las aves muestreadas resultaron positivas a *Capillaria spp.* con un promedio igual o superior a 100 huevecillos por g de heces. De acuerdo con Quiroz (2011), este nematodo se puede localizar en esófago, buche o intestino, llega a medir hasta 8 cm, es muy delgado, aunque un pequeño número de ellos puede causar daño a las aves, como inflamación en esófago, buche o ciegos; las larvas ejercen acción traumática y los adultos acción mecánica por compresión y obstrucción, además de destruir los tejidos circundantes (Mattiello *et al.*, 2000).

Camposano (2018), al estudiar la prevalencia de parásitos gastrointestinales en aves criollas observó para la *Eimeria* spp. una frecuencia de 74.74 %, en tanto que para *Capillaria* spp. fue de 22.94 %, tendencias similares a las encontradas en el presente estudio cuyas frecuencias diagnosticadas fueron 100 % para *Eimeria* spp. y 46.6 % para *Capillaria* spp. De acuerdo con Marín-Gómez y Benavides-Montaña (2007), los parásitos en general afectan en cualquier etapa de las aves, todos causan daño, ya sea por la acción expoliatriz, sustrayendo contenido intestinal o por la acción hematófaga, lo que disminuye la tasa de crecimiento y los niveles productivos, y que eventualmente pueden terminar con la muerte.

Los resultados de la Gráfica 1 indican que el número de ooquistes de *Eimeria* spp. por g de heces disminuyó progresivamente a las tres, seis y nueve días postratamiento, con tendencia similar entre el desparasitante comercial y los dos desparasitantes naturales. Es evidente que en los tres tratamientos la cuenta parasitaria se reduce a cerca de 0 % al tercer día postratamiento, de modo tal que, al noveno día de muestreo ya no hay evidencia de ooquistes.

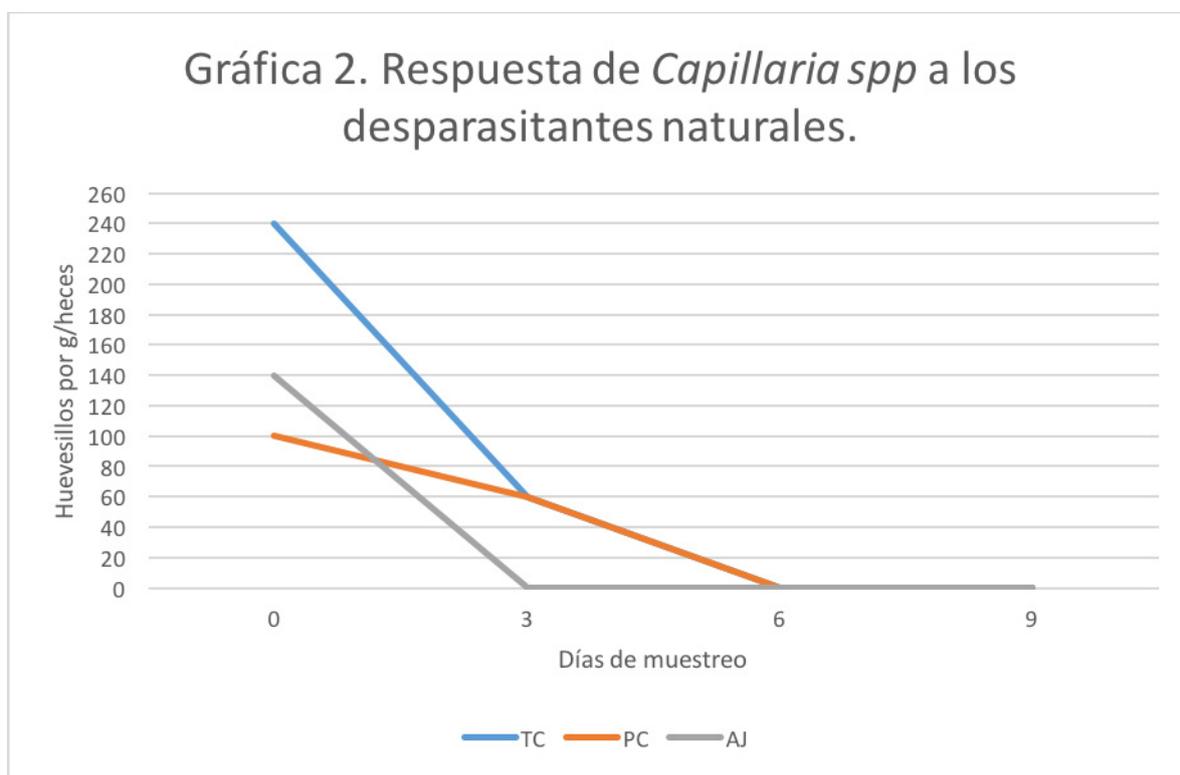


TC: tratamiento comercial, PC: pepitas de calabaza y AJ: ajo.

La respuesta de *Capillaria* spp a los desparasitantes naturales fue similar a la respuesta de *Eimeria* spp a los mismos tratamientos, excepto que el mayor descenso de la cuenta de huevecillos se presentó al sexto día de muestreo, y no a los tres días postratamiento como ocurrió con los protozoarios (Gráficas 1 y 2). Los desparasitantes naturales: ajo y pepitas de calabaza, mostraron ser una alternativa para tratar *Eimeria* y *Capillaria* en guajolotas autóctonas, con un comportamiento ovicida similar al desparasitante comercial.

En relación con la actividad desparasitante del ajo, Dumore y sus colegas (2020) realizaron un análisis fitoquímico de este y reportaron la presencia de alcaloides, terpenoides, flavonoides, esteroides, saponinas, taninos y fenoles. Por su parte, Medina y colaboradores (2014) destacan que los principales compuestos antihelmínticos de las plantas son terpenos, alcaloides, saponinas, atrainonas y taninos, aunque al parecer son los taninos los que intervienen en funciones vitales de los nematodos, afectando la movilidad, nutrición y posiblemente el aparato reproductor.

Además, Hoste y sus colegas (2005) indican que las plantas ricas en taninos han atraído la mayor atención por su efecto sobre los nematodos gastrointestinales; que las plantas taníferas pueden tener una actividad antiparasitaria directa, pero también pueden tener un efecto indirecto a través de mejorar la respuesta inmune de los animales contra los parásitos. Lo anterior, es la posible respuesta al porqué, en la presente investigación, el ajo mostró ese descenso en la carga parasitaria contra *Eimeria spp* y *Capillaria spp* en guajolotas autóctonas, como se muestra en la Tabla 1 y Gráficas 1 y 2.



En relación con las semillas de calabaza, Abreu y sus colegas (2001) analizaron tres variedades de calabaza: *Cucurbita pepo*, *Cucurbita muschata* y *Cucurbita maxima*, tratando de determinar los parámetros farmacognósticos que les permitieran emplearlos como antiparasitarios. También determinaron masa de semillas, humedad residual, cenizas totales y sustancias solubles, observando que la de mayor rendimiento agrícola es la variedad *C. muschata*.

Por su parte, Díaz y colaboradores (2004) observaron que la concentración mínima inhibitoria de *Cucurbita maxima* (semilla de calabaza), como antiparasitario es de 23 g de semilla. La misma fuente señala que el principio activo es la cucurbitina y el mecanismo de acción parece ser contracciones sostenidas en parásitos adultos (lombrices), logrando acortarlas, así como la formación de vesículas en la superficie del gusano y ruptura de la cápsula ovígera y cáscara de los huevos.

## Conclusiones

Los resultados del presente estudio permiten concluir que:

- a). El 100 % de las guajolotas muestreadas resultaron positivas a *Eimeria* spp. y, el 46.6 % a *Capillaria* spp.
- b). La media estadística fue de  $2,364 \pm 243$  ooquistes y de  $153 \pm 61$  huevecillos por g/heces para *Eimeria* spp. y *Capillaria* spp. respectivamente.
- c). En ambos tipos de parásitos, el máximo descenso en la concentración (h/g/heces) se presentó el tercer día de muestreo postratamiento.
- d). Tanto *Cucurbita maxima* (semilla de calabaza) como *Allium sativum* (ajo) resultaron una alternativa antiparasitaria contra *Eimeria* spp. y *Capillaria* spp. en guajolotes hembras de traspatio adultas.

## Bibliografía

- Abreu, S., Saborido, M., Suárez, P., Delgado, C. y Miranda, M. (2001). Estudio farmacognóstico de la droga cruda de la semilla de calabaza (*Cucurbita* spp.) *Rev. Cubana Farm*, 35(3), 199-202.
- Abu-Akkada, S., Oda, S. y Ashmawy, K. (2010). Garlic and hepatic coccidiosis: prophylaxis or treatment? *National Library of Medicine*, 42(7), 1337-43. DOI: 10.1007 / s11250-010-9590-6
- Aguilar, R. (1992). Conceptos sobre parásitos. *Principios de helmintología veterinaria: rumiantes y cerdos*, Centro de Investigación Pacífico, Centro Campo Experimental Forestal y Agropecuario, Morelia, Michoacán.
- AviNews. (2019). Diagnóstico de la coccidiosis: identificación, valoración y recuento. <https://avicultura.info/diagnostico-de-la-coccidiosis-identificacion-valoracion-y-recuento/>
- Bocha, J. (1982). *Parasitología en medicina veterinaria*, Editorial Hemisferio Sur, México.
- Cáceres, A. (1996). *Plantas de uso medicinal en Guatemala* [1 Ed.], Guatemala, vol. 1.

- Camposano, P. (2018). *Prevalencia de parásitos gastrointestinales en aves criollas (Gallus domesticus)* [Tesis de Licenciatura], Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
- Cárdenas, G.J., Flores, E.A y Juárez-Caratachea A. (2008). *Utilización del ajo (Allium sativum), como desparasitante natural contra parásitos gastrointestinales en aves de traspatio*. Memorias del XIX Encuentro de Investigación Veterinaria y Producción Animal.
- Cervantes, H.M. y Hon, M.A.M. (21-25 de mayo de 2018). *Control de la coccidiosis en la avicultura comercial*. XIV Seminario Internacional de Patología y Producción Aviar, Athens, University Georgia, U.S.A.
- CIMED (Centro de Información de Medicamentos, GT). (2002). Plantas Medicinales Volumen II. <http://sibdi.ucr.ac.cr/CIMED/cimed27.pdf>
- Cisneros, T. M. (2003). Aves de traspatio modernas en el Ecuador. <https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2018/10/AVES-DE-TRASPATIO-EN-ECUADOR.pdf>
- Crawford, R.D. (1992). Introduction to Europe and diffusion of domesticated turkeys the America. *Arch. Zoot*, 41, 307-314.
- Díaz, O.D., Lloja, L.L. y Carbial, Z.U. (2004). Estudios preclínicos de *Cucurbita maxima* (semilla de zapallo), un antiparasitario intestinal en zonas urbano rurales, *Rev. Gastroenterología del Perú*, 24(4), 1-8.
- Dumore, M., Chandewar, A., Gaidhane, A., Ambadkar, B. y More, O. (2020). Phytochemical screening and antimicrobial investigation of *Allium sativum*. *Europ. J. of Biom. and Pharm. Scis*, 2(2), 311-316.
- Fraga, L. M., Valdivia, M. y Berrio, Y. (19-21 de mayo de 1993). *Importancia de los genes simples con interés para la avicultura y su papel dentro de la agricultura orgánica*. Memoria Primer Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica, ISCA, La Habana, Cuba.
- Guimerans, S.T. (2005). Curso de fitoterapia. <http://www.mailxmail.com/curso-fitoterapia>
- Hall, V. (2002). Plantas medicinales: Volumen II. <http://sibdi.ucr.ac.cr/CIMED/cimed27.pd>
- Hoste, H., Torres-Acosta, J.F., Paolini, V., Aguilar-Caballero, A., Etter, E, Lefrileux, Y., Charter, C. y Brogua, C. (2005). Interactions between nutrition and gastrointestinal infections with parasitic nematodes in goats, *Small Ruminants Research*, 60, 141-152.
- INEGI. (2009). Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tarímbaro, Michoacán de Ocampo. Clave geoestadística 16088.
- Jacob, J. y Pescatore, T. (2011). *Natural remedies for poultry diseases common in 'natural' and 'organic' flocks*, Cooperative Extension Service, University Of Kentucky, College Of Agriculture.
- Jiménez, A.S. (2010). *Parasitosis gastrointestinal de los guajolotes criollos en condiciones de traspatio, en el estado de Michoacán, México* [Tesis de licenciatura], Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán.
- Lemus-Mandioca, R., Marín, J., Rivas, J., Sanhueza, L., Soto, Y., Vera, N. y Puente-Díaz, L. (2019). Semillas de calabaza (*Cucurbita maxima*). Una revisión de sus propiedades funcionales y sub-productos. *Rev. Chil. Nutr*, 46(6),783-791.
- Marín-Gómez, S.Y. y Benavides-Montaño, J.A. (2009). Parásitos en las aves domésticas (*Gallus domesticus*) en el Noroccidente de Colombia. *Vet-Zootec*, 1(2), 43-51.

- Mattiello, R., Boviez, J.D. y McDougald, L.R. (2000). *Eimeria brunetti* and *Eimeria necatrix* in chickens of Argentina and confirmation of seven species of *Eimeria*. *Avian Dis.*, 44(3), 711-714.
- Medina, P., Guevara, F., La O., M., Ojeda, N. y Reyes, E. (2014). Resistencia antihelmíntica en ovinos: una revisión de informes del Sureste de México y alternativas disponibles para el control de nematodos gastrointestinales. *Rev. Pastos y Forrajes*, 37(3), 257-263.
- Moreno, E. (1989). *Enfermedades parasitarias de las aves*, Editorial UNAM, México D. F., tomo II.
- Pérez, M.R. (18-22 de mayo de 1992). *Efectos del parasitismo sobre el huésped. Principios de helmintología veterinaria: Rumiantes y cerdos*, Centro de Investigación Pacífico, Centro Campo Experimental Forestal y Agropecuario, Morelia, Michoacán.
- Quiroz, R.H. (2011). *Parasitología y enfermedades parasitarias de animales domésticos*, Ed. LIMUSA. México D.F.
- Ramos-Elorduy, J. (2002). *Insectos, alimento de alta calidad para animales*, Boletín UNAM-DGCS-0703, México, D.F.
- Ravindran, V. (2013). Disponibilidad de piensos y nutrición de aves de corral en países en desarrollo. Alimentos alternativos para su uso en formulaciones de alimento para aves de corral. <http://www.fao.org/docrep/016/al706s/al706s00.pdf>
- SAGARPA. (2007). Producción avícola a pequeña escala. <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Produccion%20Avicola.pdf>
- Serrano, A.F.J. (2010). *Manual práctico de parasitología veterinaria*, Departamento de Sanidad Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad de Extremadura, España.
- Sobalvarro, J. (2006). *Estudio preliminar de la utilización del ajo (Allium sativum L.) como desparasitante interno en terneros menores de un año, en el municipio de Muy Muy, Matagalpa* [Tesis licenciatura], Universidad Nacional Agraria, Facultad de Ciencia Animal departamento de Veterinaria, Nicaragua.
- Sumano, L.H.S y Gutiérrez, O.L. (2010). *Farmacología clínica en aves comerciales*, McGRAW-HILL Interamericana, 4 Edición, México D.F.
- Valadez, A.R., García, Ch.R., Rodríguez, G.B. y Gamboa, C.L. (2001). Los guajolotes y alimentación prehispánica. *Ciencia y Desarrollo*, 27(157), 55-65.
- Vela, E. (2019). *Origen y domesticación de la calabaza. Arqueología Mexicana*, Edición Especial 36, Editorial Raíces S.A de C.V.
- Worku, M., Franco, R. y Baldwin, K. (2009). Efficacy of garlic as an Anthelmintic in adult boer goats. *Arch. Biol. Sci.*, 61(1), 135-140. DOI: 10.2298/ABS0901135W

### **III. Fitoquímica**

## **Estudio comparativo de las propiedades fisicoquímicas de la semilla, pulpa y cáscara deshidratada de la papaya (*CARICA PAPAYA*)**

Mireya Ramos Rendón  
Rosalynda Sánchez Vázquez  
Diana Cecilia Maya Cortés  
Rafael Zamora Vega

### **Introducción**

La *Carica papaya* de la familia Caricaceae, es una fruta originaria de Mesoamérica que se desarrolla en casi todas las áreas tropicales del mundo, ya que la humedad y el calor son condiciones esenciales para su desarrollo y fructificación. Los principales países productores de este cultivo son la India, Brasil y México el cual se encuentra ubicado en el sexto lugar como productor mundial (Granados, 2015). Su árbol es de tronco, generalmente sin ramificar que llegan a medir 1.5 y 3 m, sus hojas son largas de color verde oscuro o verde amarillento distribuida de manera alterna, la pulpa es carnososa, aromática y jugosa, con una coloración que va de verde amarillento a amarillo tornándose de color anaranjado cuando madura, y por dentro, contienen numerosas semillas negras redondas u ovoides que se pueden sembrar de manera directa o por semillero. De acuerdo al país productor, recibe diversos nombres: mamón, papaya, lechosa, melón de árbol, fruta bomba, mamao, pawpaw, entre otros.

En los últimos años, esta fruta ha adquirido relevancia debido a su alto valor nutricional y a sus efectos benéficos para la salud del consumidor, ya que contiene vitaminas y antioxidantes que incluyen la vitamina C, ácido gálico, terpenoides, alcaloides, flavonoides y otros compuestos fenólicos que ejercen una función importante en el cuerpo humano, reduciendo el estrés oxidativo y protegiendo la salud (Ashgar *et al.*, 2016; Adrews, 2018). De igual forma, la papaya es conocida como un remedio natural utilizado en la medicina tradicional para diferentes padecimientos como la constipación, infecciones de la piel, tratamiento de heridas, diabetes, entre otros (Abe, 2013).

Además de ser deliciosa, se sabe que sus partes (fruto, raíces, corteza, cáscara, semilla y pulpa) poseen efectos beneficiosos para la salud debido a su contenido de sustancias bioactivas mencionadas. Anteriormente, la semilla y cáscara se consideraban residuos de desecho, representando parte del problema ambiental ya que no eran recicladas de manera adecuada. Actualmente la industria alimentaria los incluye dentro de la formulación de sus productos funcionales, como posible solución a padecimientos y enfermedades degenerativas por su contenido de pigmentos y antioxidantes como antocianinas, betalainas, flavonoides, compuestos fenólicos, betaxantinas, betacianinas y vitaminas (Navarro *et al.*, 2016; Rivera *et al.*, 2016).

La papaya es un fruto de consumo diario en México, es bajo en calorías, contiene sustancias dietéticas que satisfacen las necesidades nutricionales del organismo y es utilizada en personas que padecen trastornos de la conducta alimentaria como sobrepeso y obesidad o simplemente requieren bajar de peso, por probado uso en mitigar y disminuir el estreñimiento, prevención de úlceras, cáncer, entre otros padecimientos.

Gracias a su contenido de vitaminas A, C, B1, B2, tiamina, folato, riboflavina, niacina y fibra, la pulpa es la parte comestible más consumida por la población en general y la cáscara la parte residual del alimento. La pulpa es utilizada como alimento fresco o cocido y por cada 100 gramos se presenta: 0.5 % de proteínas, 0.1 % de grasas, 8.3 % de carbohidratos, 0.6 % de fibra, 20 mg de calcio, 13 mg de fósforo, 37 mg de retinol y 46 mg de vitamina C, además contiene sustancias bioactivas como enzimas, vitaminas y antioxidantes (Flores *et al.*, 2018).

Por otra parte, la cáscara de la fruta presenta un porcentaje de cenizas de 10.45 %, fibra 0.643 %, proteína 2.23 % y capacidad antioxidante de 99.63 %, además de enzimas proteolíticas como la papaína y la quimopapaína las cuales tienen propiedades antivirales, antifúngicas y antibacterianas. También presentan estabilidad térmica para ser utilizadas en el ablandamiento de la carne, y tienen importancia médica especialmente en gastroenterología. La papaína tiene acción similar a la pepsina debido a su excelente ayuda en la digestión, razón por la cual se recomienda consumirla en el tratamiento de trastornos digestivos (Farhan, 2014; Wattanased, 2019).

El polvo de la semilla es utilizado como auxiliar en la digestión y en tratamientos de heridas de la piel. Constituye del 12 al 22 % del fruto y contiene en base seca 33 % de aceite oleico, palmítico, linoleico y esteárico, y alrededor del 29 % de proteína y minerales como calcio (Ca), fósforo (P) y magnesio (Mg). Uno de sus principales usos es como especie para proporcionar características sensoriales a los alimentos y elevar su calidad nutritiva (Nayak, 2012).

Sin duda alguna, a nivel de industria alimentaria y farmacéutica se encuentran en desarrollo diferentes productos alimentarios y farmacéuticos a base de aditivos, compuestos y moléculas bioactivas que han sido previamente extraídos de la cáscara, pulpa y semilla de la papaya.

## **Objetivo general**

Evaluar, valorar y diferenciar principalmente el contenido de proteína y minerales presentes en la cáscara, pulpa y semilla de la papaya *Carica*, mediante análisis químico proximal.

## **Materiales y métodos**

### *Selección de la fruta*

La fruta fue adquirida en un mercado local de la ciudad de Morelia, Michoacán, el mismo día del ensayo. La selección se hizo con base en su integridad, tamaño homogéneo y un grado de madurez intermedio. Se lavó con hipoclorito de sodio al 2 %, se deshidrató en una estufa con una temperatura promedio de 50 °C con una desviación estándar de  $\pm 3$  °C, conservando una humedad relativa durante 24 a 48 horas. Se pulverizó la papaya deshidratada para su estudio.

*Análisis químico proximal*

El análisis químico proximal se realizó en las siguientes muestras: pulpa de papaya, cáscara de papaya y semilla de papaya. La humedad se determinó bajo la NOM-116-SSA1-1994, en esta metodología se calcula el porcentaje de agua por la pérdida de peso que tiene el alimento, esto debido a la eliminación de agua libre por calentamiento bajo condiciones estandarizadas. El contenido de materia inorgánica total expresado como % de Cenizas, se cuantificó empleando la metodología de la NMX-F-607-NORMEX-2013, la cual consiste en incinerar una muestra pesada de alimento en un crisol a una temperatura de entre 500-600 °C hasta conseguir un residuo únicamente de cenizas, las cuales deben presentar un color gris o blanco uniforme, que indica una incineración completa.

El fundamento de esta metodología es gravimétrico basado en una diferencia de masa de la muestra hasta obtener un peso constante. El extracto etéreo se determinó con base en la metodología de la NMX-615-NORMEX-2, que consiste en colocar una muestra sólida seca finamente pulverizada en un cartucho poroso, el cual se coloca dentro de la cámara del extractor Soxhlet y se coloca un solvente no polar, el cual se calienta y se condensan sus vapores sobre el cartucho que contiene la muestra, extrayendo los lípidos solubles. Este proceso se repite hasta que se completa la extracción de lípidos y se cuantifica en masa el extracto. El contenido de Nitrógeno proteico se cuantificó mediante la metodología de la NMX-F-608-NORMEX-2011, la cual implica la destrucción oxidativa de la materia orgánica de la muestra y la reducción del nitrógeno orgánico a amoníaco, el cual es liberado mediante una destilación alcalina y posteriormente condensado y retenido en una trampa ácida para su cuantificación mediante una titulación.

Todos los análisis antes mencionados, fueron realizados por triplicado. Y el contenido de carbohidratos totales se obtuvo por diferencia, una vez conocidos cuantitativamente los demás componentes en cada muestra.

*Capacidad de absorción de agua (WHC) y aceite (OHC)*

La capacidad de absorción de agua (WHC) y la capacidad de absorción de aceite (OHC) se determinó de acuerdo con el método propuesto por Timilsena y sus colaboradores (2016). Se registran los pesos constantes iniciales de los tubos Eppendorff. Se inicia con la preparación de soluciones de 0.25 g de cada muestra correspondiente por triplicado (cáscara, pulpa y semilla de papaya) en 10 ml de agua destilada o aceite comercial comestible de canola (densidad: 0,918 g/ml, marca Nutrioli) respectivamente, las cuales se mantuvieron bajo agitación constante durante 2 horas. Concluido el tiempo, se dejaron reposar durante la noche a una temperatura de 25 °C para su completa absorción. Posteriormente, las soluciones se centrifugaron a 1600 rpm por 10 minutos, se decantaron para eliminar el sobrenadante y se pesó cada tubo con el residuo. La WHC (g de agua/g muestra) y OHC (g de aceite/g de muestra) fueron calculadas mediante las siguientes fórmulas:

$$\text{WHC} = \frac{[(\text{peso del tubo decantado (g)} - \text{peso tubo vacío (g)}) - \text{peso de la muestra (g)}]}{\text{peso de la muestra (g)}}$$

$$\text{OHC} = \frac{[(\text{peso del tubo decantado (g)} - \text{peso tubo vacío (g)}) - \text{peso de la muestra (g)}]}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

## Resultados

La fruta fue adquirida en un mercado local de la ciudad de Morelia, Michoacán, con un tamaño de 1.280 kg y un grado de madurez intermedio. Se lavó con hipoclorito de sodio al 2 %, se deshidrató en una estufa con una temperatura promedio de 50 °C con una desviación estándar de  $\pm 3$  °C, conservando una humedad relativa durante 24 a 48 horas. Se pulverizó la papaya deshidratada para su estudio obteniendo 300 g de papaya seca pulverizada, considerando la cáscara, semilla y pulpa por separado.

Como se observa en la Tabla 1, los resultados de los análisis realizados de la semilla, cáscara y pulpa de la papaya (*Carica papaya* L) arrojó los siguientes hallazgos: en el contenido proteico de la semilla y cáscara de papaya deshidratadas, se cuantificó cuatro y dos veces más nitrógeno proteico respectivamente en comparación a la pulpa deshidratada, este resultado indica un gran beneficio ya que contiene la enzima llamada papaína que funciona similar a la pepsina que genera el cuerpo humano, favoreciendo la digestión al descomponer a las proteínas en aminoácidos y evita la fermentación de algunos alimentos, con lo que se impide la hinchazón en el estómago. En cuanto al contenido mineral total, en la cáscara y semilla se concentraron estos elementos inorgánicos dos veces más en comparación con la pulpa; el contenido de cenizas de la cáscara resultó similar al reportado por María de Lourdes Vargas y colaboradores (2019), lo anterior nos permite considerar estas otras partes estructurales del fruto como una fuente potencial de minerales, lo cual podría ayudar en el equilibrio del organismo; el contenido de extracto etéreo también se concentró con valores muy altos en semilla; en cuanto a la capacidad de retención de agua y aceite, la semilla fue quien exhibió mejores propiedades en ambas condiciones, debido al contenido de fibra dietética que permitieron la absorción de agua y aceite respectivamente.

**Tabla 1**

Análisis químico proximal de la semilla, cáscara y pulpa de la papaya (*Carica papaya* L).

Muestra	Humedad (%)	Cenizas (%)	Extracto etéreo (%)	Proteína (%)	R. Agua (g)	R. Aceite (g)
Semilla	6.8 $\pm$ 0.1c	8.8 $\pm$ 0.07b	23.1 $\pm$ 0.38a	28.2 $\pm$ 0.71a	15.9 $\pm$ 0.7a	14.3 $\pm$ 0.39a
Cáscara	90.9 $\pm$ 0.1b	10.2 $\pm$ 0.1a	2.1 $\pm$ 0.1b	14.5 $\pm$ 0.02b	9.8 $\pm$ 0.1b	2.5 $\pm$ 0.01cb
Pulpa	91.8 $\pm$ 0.2a	4.2 $\pm$ 0.3c	0.6 $\pm$ 0.1c	6.0 $\pm$ 0.1c	6.13 $\pm$ 0.3c	2.9 $\pm$ 0.01bc

Valores con letras distintas por columna obtuvieron diferencia estadística según ANOVA-Tukey (P<0.05) n=3

## Conclusión

Lo anterior permite considerar la incorporación de semilla y cáscara deshidratadas de este fruto a otras matrices alimentarias o complementos alimenticios con la finalidad de rescatar el contenido proteico y minerales que poseen y que usualmente descartamos en su consumo habitual.

## Bibliografía

- Abe, R. y Ohtani, K. (2013). An ethnobotanical study of medicinal plants and traditional therapies on Batan Island, the Philippines. *Journal of Ethnopharmacology*, 145(2), 554-565. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.11.029>
- Andrews, C., Wyne, K. y Svenson, J. (2018). The Use of Traditional and Complementary Medicine for Diabetes in Rural Guatemala. *Journal of Health Care for the Poor and Underserved*, 29(4), 1188-1208. DOI: 10.1353/hpu.2018.0092
- Asghar, N., Ali, S., Naqvi, R., Hussain, Z., Rasool, N., Khan, Z. y Haq, U. (2016). Compositional difference in antioxidant and antibacterial activity of all parts of the *Carica papaya* using different solvents. *Chemistry Central Journal*, 10, 5-15. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4741006/>
- Farhan, M., Imran, P., Rabia, N., Rizwana, B., Ammar, K. y Muhammad A. (2014). Nutritional and Phyto-Therapeutic Potential of Papaya (*Carica Papaya Linn.*). *International Journal of Food Properties*, 17(7), 1637-1653.
- Flores, J., Medina, G., Báez, J., García, A., Gallardo, C. y Castillo, L. (2018). Evaluación antimicrobiana, antioxidante y composición nutricia de subproductos bioprocesados de *Carica papaya L.* *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3, 145-150.
- Granados, R., Salceda, R. y Longar B. (2015). Situación actual y perspectivas tecnológicas para la papaya (*Carica papaya L.*) en el distrito de Veracruz, Veracruz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(4), 749-761. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342015000400007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000400007&lng=es&tlng=es)
- Navarro, A., Rojas, E., Lazcano, M. y Vera, O. (2016). Propiedades funcionales de semillas de papaya (*Carica papaya L.*). *Revista de Ciencias de la Salud*, 3(7), 48-57. <https://docplayer.es/49670149-Propiedades-funcionales-de-semillas-de-papaya-carica-papaya-l.html>
- Nayak, B., Ramdeen, R., Adogwa, A., Ramsubhag, A., y Marshall, J. (2012). Wound- healing potential of an ethanol extract of *Carica papaya* (Caricaceae) seeds. *International Wound Journal*, 9(6), 650-655. <https://doi.org/10.1111/j.1742-481X.2011.00933.x>
- NMX-F-090-S-1978. Determinación de fibra cruda en alimentos. Foodstuff determination of crude fiber. Normas mexicanas. Dirección general de normas.
- NMX-F-607-NORMEX-2013. Alimentos. Determinación de Cenizas en Alimentos. Método de prueba.
- NMX-F-615-NORMEX-2004. Alimentos Determinación de extracto etéreo (Método Soxhlet) en alimentos. Método de prueba.
- NOM-116-SSA1-1994. Determinación de Humedad en Alimentos por tratamiento térmico Método por arena o gasa.

- Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010. Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados. Información comercial y sanitaria.
- Quintana, S., Granados, C. y García-Zapateiro, L. (2017). Propiedades Reológicas de la Pulpa de Papaya (*Carica papaya*). *Información tecnológica*, 28(4), 11-16. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000400003>
- Rivera, M., Castillo, N., Figueroa, K., Rojas, M. y Esparza, J. (2016). Determinación de los compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante en residuos de fruto de papaya (*Carica papaya*). *Vitae*, 23 (Supl. 1), 570-573. <https://www.proquest.com/openview/3a91d4140938384a5470d2c41afa3f50/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1806352>
- Timilsena, Y., Adhikari, R., Kasapis, S., y Adhikari, B. (2016). Molecular and functional characteristics of purified gum from Australian chia seeds. *Carbohydrate polymers*, 136, 128-136. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.09.035>
- Vargas, M., Figueroa Brito, H., Tamayo Cortez, J., Toledo López, V. y Moo Huchin, V. (2019). Aprovechamiento de cáscaras de frutas: análisis nutricional y compuestos bioactivos. *Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 26(2), s.p. <https://doi.org/10.30878/ces.v26n2a6>
- Wattanased, J. y Wariy, S. (2019). Properties of Unripe *Carica papaya* Fruit Extract and Its Protective Effects against Endothelial Oxidative Stress. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 3(1), 15-30. <http://doi.org/10.1155/2019/49126311>

## **Estudio de los componentes del aceite esencial de especies del género *TRIXIS***

Luis Daniel Herrera Sanabria  
Andrea Guadalupe Cárdenas González  
Lizbeth Ahtziri Vargas Contreras  
Rosa Elva Norma del Río Torres, Mario  
Armando Gómez Hurtado  
Gabriela Rodríguez García

### **Introducción**

Los aceites esenciales son los constituyentes etéreos con mayor distribución en el reino vegetal, se encuentran en casi todas las partes de las especies vegetales: raíz, tallo, hoja y fruto. Se obtienen por medio de la destilación por arrastre de vapor de agua, una de las técnicas con mayor difusión dada la facilidad de operación; además, de que producen aceites de mayor calidad.

El género *Trixis* (Familia Asteraceae), se encuentra ampliamente distribuido en la región neotropical de América y lo comprenden plantas arbustivas o herbáceas perennes. En el caso de México, 16 son especies endémicas, entre ellas: *Trixis michuacana* var. *longifolia* y *Trixis* sp., ampliamente distribuidas en el estado de Michoacán y conocidas popularmente como «árnica falsa» y «árnica de Santo Tomás», respectivamente. En la medicina tradicional estas especies son empleadas en forma de decocción de sus partes aéreas para la cicatrización de heridas, llagas y úlceras. Cabe destacar que la especie *T. michuacana* posee propiedades terapéuticas para tratar la infertilidad ocasionada por la «frialdad del vientre», término acuñado en la medicina *p'urhépecha* para la infertilidad (Herrera, 2019).

Actualmente, el género no posee evidencia de la composición química de sus aceites esenciales, lo cual encaminó al estudio de estas dos especies: *Trixis michuacana* var. *longifolia* y *Trixis* sp. En este trabajo se describen los resultados obtenidos del estudio de los componentes mayoritarios de los aceites esenciales, así como su comparación y naturaleza química, contribuyendo a su quimiotaxonomía.

### *Aceites esenciales en las plantas*

Los aceites esenciales son mezclas complejas de compuestos volátiles producto final del metabolismo secundario de las plantas. Dependiendo de la especie, se calcula que un aceite esencial puede contener entre 50-300 compuestos químicos, los cuales poseen una naturaleza química variable. Se pueden encontrar principalmente: hidrocarburos de cadena abierta, hidrocarburos terpénicos, alcoholes, aldehídos, cetonas, éteres, ésteres, compuestos fenólicos, fenilpropanoides, entre otros (Ruiz *et al.*, 2015).

La mayoría de los aceites esenciales tienen aromas agradables, por lo que son utilizados en la industria cosmética y de alimentos como aromatizantes y/o saborizantes, como aditivos de preparaciones farmacéuticas o como base de perfumes, desodorantes, lociones, jabones, etc. Además, poseen propiedades biológicas importantes, ya que actúan como antibacterianos, antifúngicos, antivirales e insecticidas (Reichling *et al.*, 2009).

#### *Familia Asteraceae*

La familia Asteraceae agrupa entre 23,000 y 30,000 especies y 1,500 géneros y está ampliamente distribuida por el mundo. Las asteráceas se encuentran organizadas en tres subfamilias y 17 tribus, basándose en análisis cladísticos de datos morfológicos; se distinguen por su estructura reproductiva, el capítulo donde las flores se disponen en forma sécil sobre un receptáculo ensanchado (Katinas *et al.*, 2007; Ubierno *et al.*, 2009).

México alberga poco más del 10 %, con alrededor de 3,057 especies nativas de compuestas, representando el 63 % de la riqueza florística de nuestro país. Además, es importante centro de diversificación y endemismo para la familia; muestra de ello es que continúan describiéndose nuevas especies de asteráceas (Vargas *et al.*, 2013). La tribu Mutusiae incluye 14 géneros, entre ellos, al género *Trixis*, y alrededor de 200 especies a nivel mundial (Norteamérica, Centroamérica, Las Antillas, Asia, África y Australia), aunque principalmente se encuentran en Sudamérica (Redonda, 2018).

#### *Género Trixis*

El género *Trixis* P. Browne (Asteraceae) comprende 170 especies descritas y de estas, solo 34 especies son aceptadas. Se distribuye mayormente dentro de la región neotropical de América (Katinas, 1996), y está conformado por especies arbustivas o herbáceas perennes. De este género solo 16 especies son endémicas de México, entre ellas *Trixis michuacana* var. *longifolia* (Anderson, 1972; Xavier y Machado, 2010) que cuenta con las siguientes categorías taxonómicas (Tabla 1).

**Tabla 1**  
Categorías taxonómicas para el género *Trixis*.

<b>Taxonomía del género <i>Trixis</i></b>	
<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Equisetopsida
<b>Subclase</b>	Magnoliidae
<b>Superorden</b>	Asteranae
<b>Orden</b>	Asterales
<b>Familia</b>	Asteraceae
<b>Género</b>	<i>Trixis</i>

*Estudios químicos del género Trixis*

El estudio del género *Trixis* comenzó a finales del siglo pasado, y en ellos se han examinado químicamente algunas especies de este género: *T. angustifolia*, *T. antimenorrhoea*, *T. grisebachii*, *T. inula*, *T. michoacana* var. *longifolia*, *T. pallida*, *T. paradoxa*, *T. praestans*, *T. vauthieri* y *T. Wright* (Bohlmann *et al.*, 1979; Bohlmann *et al.*, 1981; De Riscala *et al.*, 1988; Ribeiro y Piló, 1997; Bermejo, 2000). Los resultados de estas investigaciones han descrito metabolitos secundarios de importante interés químico y biológico.

Los metabolitos secundarios de mayor relevancia en el género *Trixis* son denominados trixingólidos o trixanolidos (**1**) (Katowicz *et al.*, 2001), estos metabolitos poseen actividades biológicas importantes. También hay evidencia de la presencia de otros compuestos del tipo terpenoide: sesquiterpenos (**2**), triterpénicos (**3-5**) (derivados el ursano, oleanano y lupano) (De Riscala *et al.*, 1989; Maldonado *et al.*, 2014). Otros metabolitos con una presencia notoria son los fitoesteroles (**6**) (derivados del esterano) (Sales *et al.*, 2019). Además, se han aislado un número importante de compuestos fenólicos (**7**) (flavonoides) (Figura 1).

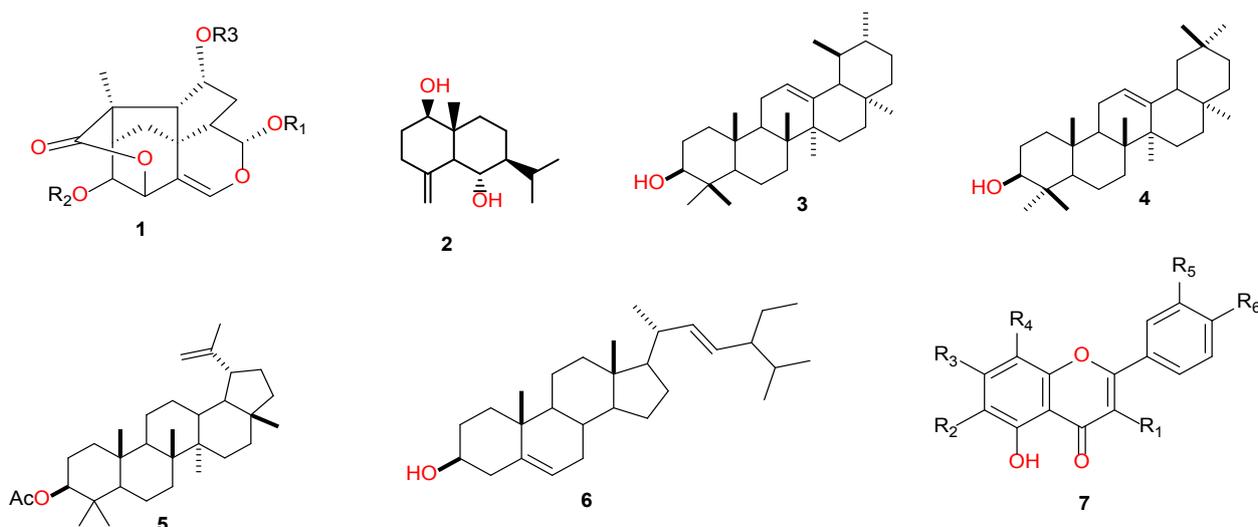


Figura 1. Metabolitos representativos aislados del género *Trixis*.

## Justificación

El género *Trixis* no cuenta con estudios previos de la composición química de sus aceites esenciales, por lo cual resulta trascendental llevar a cabo el estudio de sus componentes volátiles en dos especies del género: *Trixis michoacana* var. *longifolia* y *Trixis* sp., lo que permitirá contribuir a la quimiota-xonomía del género.

## Objetivos

Extraer los aceites esenciales de las partes aéreas de especies del género *Trixis*: *Trixis michuacana* var. *longifolia* y *Trixis* sp., comparando su composición química.

## Objetivos específicos

- Colectar las especies vegetales.
- Realizar la extracción por arrastre de vapor de las partes aéreas de cada especie.
- Analizar por CG-EM.

## Material y métodos

### *Recolección de las especies vegetales*

La colecta de *Trixis michuacana* var. *longifolia* se realizó en el mes de noviembre de 2019 en la carretera Peribán-Los Reyes a longitud  $-102^{\circ} 39.861'$  y latitud  $19^{\circ} 55.638'$ , se encuentra a una altura media de 1,620 metros sobre el nivel del mar. La especie *Trixis* sp fue adquirida en el Mercado San Juan de la ciudad de Morelia, en el mes de noviembre de 2019.

### *Extracción de los aceites esenciales*

Para la obtención del aceite esencial se sometieron 150 g de las partes aéreas frescas de *Trixis michuacana* var. *longifolia* a una extracción por arrastre de vapor, se agregó 1 L de agua destilada, esta extracción se llevó a cabo durante 2 h. El aceite esencial que se obtiene viene arrastrado por el vapor de agua que al condensarse forma una mezcla de aceite esencial más agua. Para eliminar el excedente de agua se emplea la técnica de bipartición, donde la diferencia de densidades, permite obtener la fase oleosa. El mismo procedimiento se empleó para la obtención del aceite esencial de *Trixis* sp., solo que en este caso se emplearon 155 g de sus partes aéreas frescas.

### *Análisis cromatográfico*

Los aceites esenciales fueron analizados en un Cromatógrafo de gases Thermo Scientific Trace 1310, acoplado a un espectrómetro de masas ISQ LT. Los espectros fueron procesados en el software Thermo Xcalibur y comparados con la base de datos NIST Mass Spectral Search Program for NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library 2011.

## Resultados

Del arrastre de vapor de las partes aéreas de *Trixis michuacana* var. *longifolia*, el rendimiento fue de 0.03 %, obteniendo 45.5 mg de aceite esencial, el cual fue analizado por cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masa (CG-EM). El cromatograma de gases mostró picos con tiempos de retención (Rt) que van desde 3.64-38.5 min. La zona más abundante del cromatograma corresponde a los Rt de 9.54-11.79 min, donde se distinguen 13 picos de mayor abundancia (Figura 2). Cada Rt fue comparado con la biblioteca NIST 2.0 2011, lo que llevó a la identificación de los 13 principales componentes del aceite esencial (Tabla 2).

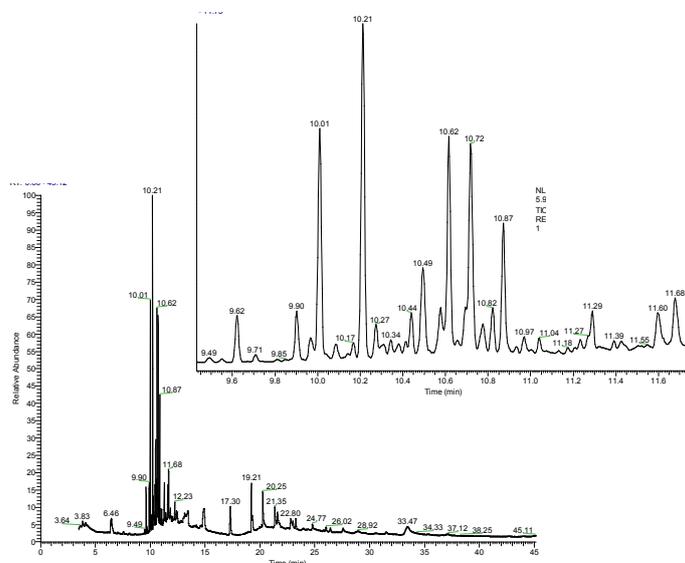


Figura 2. Cromatograma de gases del aceite esencial de las partes aéreas de *Trixis michuacana* var. *longifolia*.

**Tabla 2**

Principales componentes del aceite esencial de *Trixis michuacana* var. *longifolia*.

Tiempo de Retención (R <sub>t</sub> min)	Compuesto	Integración del área (%)
9.62	elixeno ( <b>7</b> )	1.21
9.90	<i>α</i> -copaeno ( <b>8</b> )	1.36
10.01	<i>β</i> -elemeno ( <b>9</b> )	6.68
10.21	<i>β</i> -cariofileno ( <b>10</b> )	8.97
10.27	<i>β</i> -copaeno ( <b>11</b> )	1.27
10.44	<i>α</i> -humuleno ( <b>12</b> )	1.28
10.49	Aromandreno ( <b>13</b> )	2.66
10.62	<i>β</i> -cububeno ( <b>14</b> )	7.40
10.72	<i>γ</i> -elemeno ( <b>15</b> )	6.89
10.82	<i>γ</i> -muuroleno ( <b>16</b> )	1.04
10.97	<i>α</i> -ylangeno ( <b>17</b> )	0.54
11.60	Cadinol T ( <b>18</b> )	1.36
11.68	<i>α</i> -Cadinol ( <b>19</b> )	1.83

Del arrastre de vapor de las partes aéreas frescas de *Trixis* sp., se obtuvo un rendimiento del 0.01 %, obteniendo 18.5 mg de aceite esencial, el cual fue analizado por CG-EM, logrando el siguiente cromatograma de gases: Rt desde 3.54-45.11 min (Figura 3); la región más nutrida del cromatograma va desde los Rt 9.55-12.45 min donde se aprecian 27 picos, cada Rt fue comparado con la base de datos NIST 2.0 2011, lo que llevó a la identificación de los principales componentes del aceite esencial (Tabla 3).

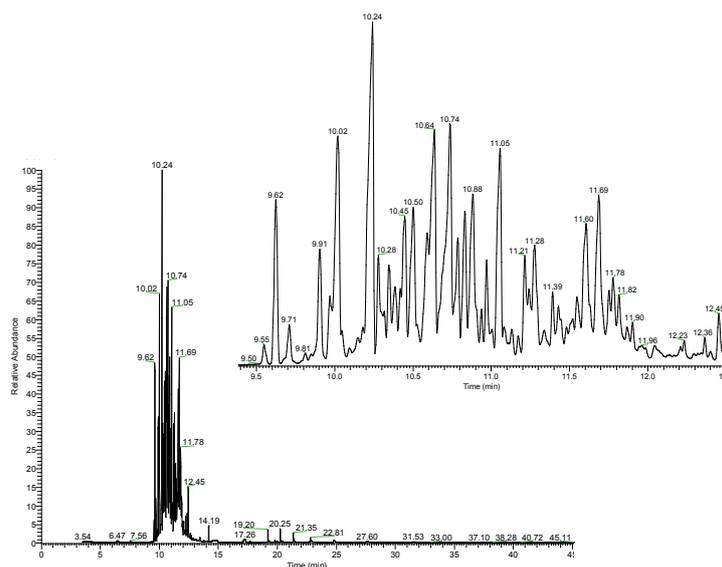


Figura 3. Cromatograma de gases del aceite esencial de las partes aéreas de *Trixis* sp.

Las fórmulas de los componentes volátiles encontrados en las especies de *Trixis* se muestran en la Figura 4.

**Tabla 3**  
Principales componentes del aceite esencial de *Trixis* sp.

Tiempo de Retención (min)	Compuesto	Integración del área (%)
9.62	Elixeno ( <b>7</b> )	3.32
9.71	<i>a</i> -cubebeno ( <b>20</b> )	0.86
9.91	<i>a</i> -copaeno ( <b>8</b> )	2.58
10.02	$\beta$ -elemeno ( <b>9</b> )	7.42
10.24	$\beta$ -cariofileno ( <b>10</b> )	10.8
10.28	$\beta$ -cubebeno ( <b>14</b> )	2.62
10.35	Allo-aromadendreno ( <b>21</b> )	2.78
10.45	<i>a</i> -Humuleno ( <b>12</b> )	3.52
10.50	$\gamma$ -muuroloeno ( <b>16</b> )	3.63
10.64	Germacreno D ( <b>22</b> )	7.93
10.74	$\gamma$ -elemeno ( <b>15</b> )	7.37
10.79	<i>a</i> -longipineno ( <b>23</b> )	2.1
10.83	$\gamma$ -cadieno ( <b>24</b> )	2.54
10.88	$\beta$ -cadieno ( <b>25</b> )	4.05
10.97	<i>a</i> -muuroloeno ( <b>26</b> )	2.06
11.05	Elemol ( <b>27</b> )	5.05
11.21	Germacreno D-4-ol ( <b>28</b> )	3.22
11.28	Epóxido de cariofileno ( <b>29</b> )	2.43
11.39	Viridiflorol ( <b>30</b> )	1.79
11.55	$\gamma$ -eudesmol ( <b>31</b> )	1.95
11.60	Cadinol T ( <b>18</b> )	3.98
11.69	<i>a</i> -cadinol ( <b>19</b> )	4.50
11.78	Epóxido de isoaromadendreno ( <b>32</b> )	4.1
11.90	<i>a</i> -bisabolol ( <b>33</b> )	0.45
12.23	Epóxido de Cis- $\alpha$ -bisaboleno ( <b>34</b> )	0.56
12.36	Geranil- <i>a</i> -Terpeno ( <b>35</b> )	0.72

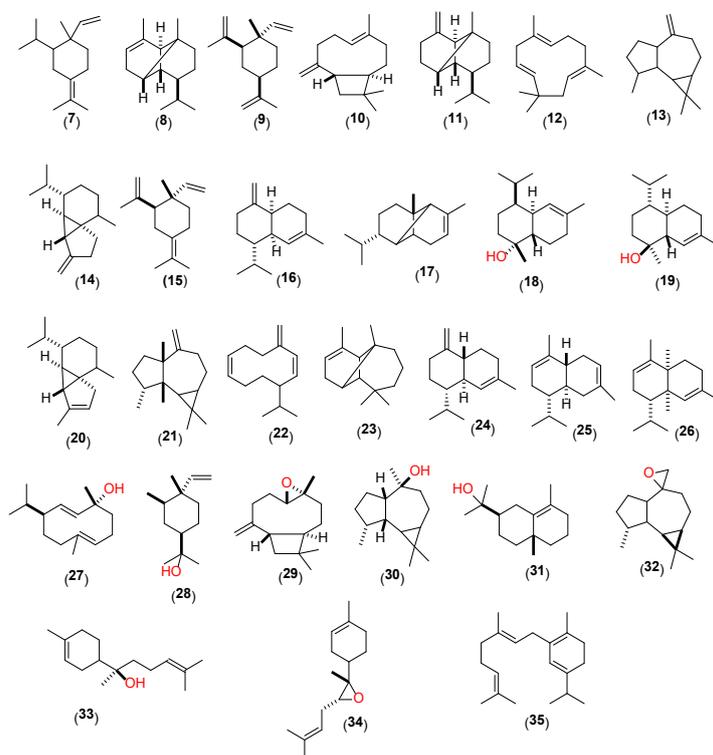


Figura 4. Fórmulas de los principales componentes volátiles en especies del género *Trixis*.

## Conclusión

En el presente estudio se determinó la composición química de los aceites esenciales de dos especies del género *Trixis* mediante CG-EM. Se lograron identificar 13 componentes principales del aceite esencial de *Trixis michuacana* var. *longifolia*, y se compone principalmente de sesquiterpenos. En el caso de *Trixis* sp., se identificaron 27 componentes de su aceite esencial, todos ellos de naturaleza terpenoide. Los componentes que predominan en los aceites esenciales de *Trixis* son elixeno (**7**), *a*-copaeno (**8**),  $\beta$ -elemeno (**9**),  $\beta$ -cariofileno (**10**), *a*-humuleno (**12**),  $\gamma$ -elemeno (**15**), cadinol T (**18**) y el *a*-cadinol (**19**). Esta es la primera ocasión que se reporta la composición química del aceite esencial de ambas especies del género *Trixis*.

## Bibliografía

- Anderson, C. (1972). A monograph of the Mexican and Central American species of *Trixis* (Compositae). *Mem. New York Bot. Gard*, 22(3), 1-68.
- Bermejo, J. (2000). La farmacia moderna está en los productos naturales. *Revista Académica Colombiana de Ciencias*, 24(92), 441-447.

- Bohlmann, F., Suwita, A., Jakupovic, J., King, M. y Robinson, H. (1981). Trixikingolides and germacrene derivatives from *Trixis* species. *Phytochemistry*, 20(7), 1649-1655.
- Bohlmann, F. y Zdero, C. (1979). On a New Group of Sesquiterpene lactones from the Genes *Trixis*. *Chemistry Berlin*, 112, 435-444.
- De Riscalá, C.E., Catalán, N.C., Legname, R.P., Gutiérrez, B.A., y Herz W. (1989). Trixanolide and Germacatriene derivatives from *Trixis grisebachii*. *Phytochemistry*, 28(8), 2155-2161.
- De Riscalá, C.E., Catalán, N.C., Sosa, E.V., Gutiérrez, B.A., y Herz, W. (1988). Trixane derivatives from *Trixis praestans*. *Phytochemistry*. 27(7), 2343-2346.
- Herrera-Sanabria, L.D. (2019). Estudio Químico Preliminar de *Trixis michuacana* var. *longifolia* (D. Don) [Tesis de Licenciatura], Facultad de Químico Farmacobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán.
- Katinas, L. (1996). Revisión de las especies Sudamericanas del Género *Trixis* (Asteraceae, Mutisieae). *Darwiniana*, 34(1-4), 27-108.
- Katinas, L., Gutiérrez, D.G., Grossi, A.M., y Crisci, V.J. (2007). Panorama de la familia Asteraceae (= Compositae) en la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Botánica de Argentina*, 42(1-2), 113-129.
- Katowicz, C., Hernández, R.L., García-Rojas, C.M., Villecco, B.M., Catalán, N.C. y Joseph-Nathan, P. (2001). Absolute Configuration of Trixanolides from *Trixis pallida*. *Journal of Natural Products*, 64(10), 1326-1331.
- Maldonado, M.E., Salamanca, E., Giménez, A., Saavedra, G., y Sterner, O. (2014). Antileishmanial metabolites from *Trixis antimenorrhoea*. *Phytochemistry Letters*, 10, 281-286.
- Reichling, J., Schnitzler, P., Suschke, U. y Saller, R. (2009). Essential oils of aromatic plants with antibacterial, antifungal, antiviral, and cytotoxic properties-an overview. *Forschende Komplementärmedizin/Research in Complementary Medicine*, 16(2), 79-90.
- Ribeiro, A. y Piló-Veloso, D. (1997). Trypanocidal flavonoids from *Trixis vauthieri*. *Journal of Natural Products*, 60(8), 836-838.
- Ruiz, C., Díaz, C. y Rojas, R. (2015). Composición química de aceites esenciales de 10 plantas aromáticas peruanas. *Revista de la Sociedad de Química de Perú*, 81(2), 81-94.
- Sales-Junior, P.A., Leomar-Zani, C., Pessoa de Siqueira, E., Kohlhoff, M., Marques, R.F., Portes-Calderia, A.S., Barros-Cota, B., Bueno-Maia, D.N., Guimaraes-Tunes, L., Fonseca-Murta S. M. y Almeida-Alves, T.M. (2019). Trypanocidal Trixikingolides From *Trixis vauthieri*. *Natural Product Research*, 1, 1-9.
- Ubierno, P., Lapp, M., y Torrecilla, P. (2009). Morfología del polen de especies de Gongylolepis (Mutisieae: Asteraceae) de la Guyana venezolana. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 66(1), 93-107.
- Vargas-Amado, G., Castro-Castro, A., Harker, M., Villaseñor, J.L., Ortiz, E. y Rodríguez, A. (2013). Distribución geográfica y riqueza del género *Cosmos* (Asteraceae: Coreopsidae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 94, 536-555.
- Xavier-Borgues, R.A., y Machado-Saavedra, M. (2010). *Trixis forzzae* (Compositae: Mutisieae), a new species from Minas Gerais, Brazil. *Kew Bulletin*, 65(1), 65-68.

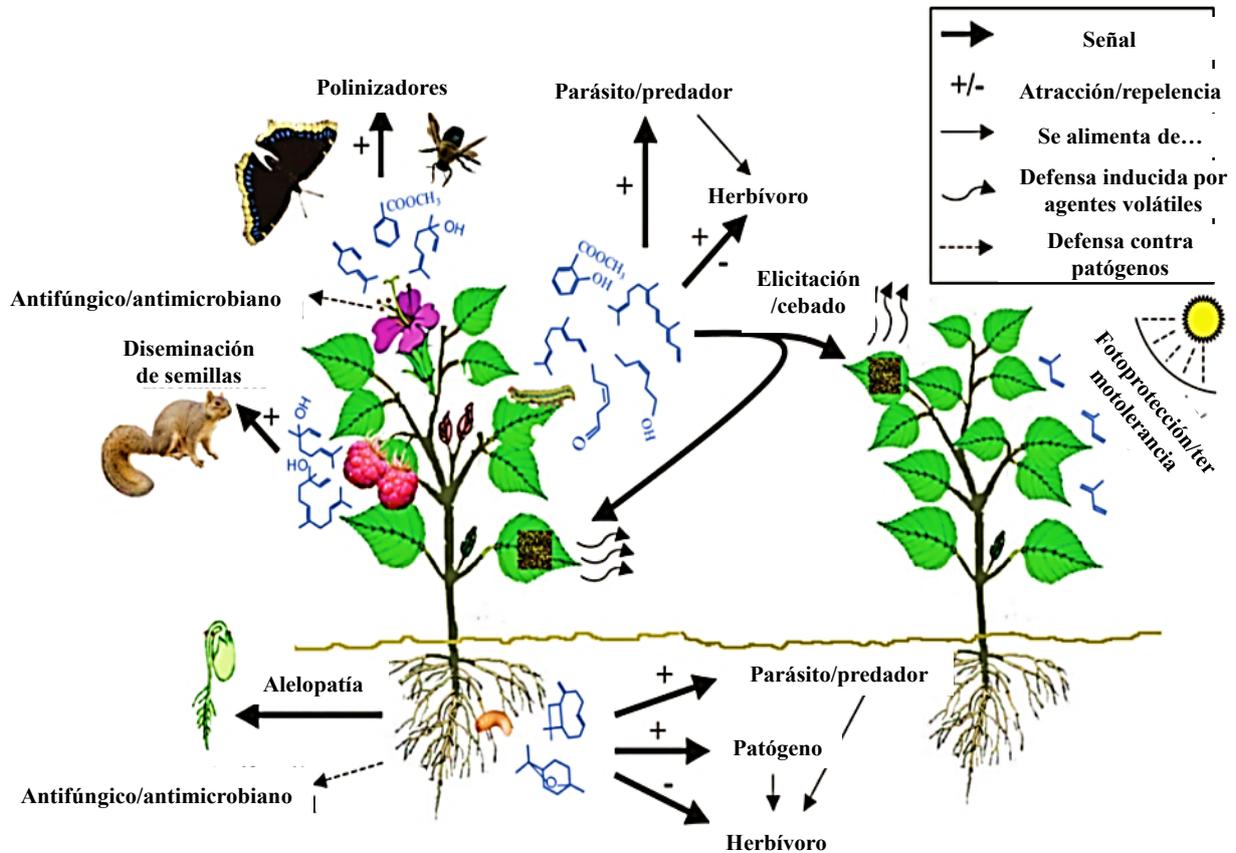
## **Determinación de triterpenos en extractos de *SOLANUM SP.* Y su asociación con el uso del fruto en medicina tradicional**

Dalia Ibet Díaz Arellano  
Eva Esthefany Soto Guzmán  
Mario Armando Gómez Hurtado  
Gabriela Rodríguez García  
Ernesto Ramírez Briones  
José C. Ayala Almonte  
Yliana López  
Rosa Elva Norma del Río Torres

### **Introducción**

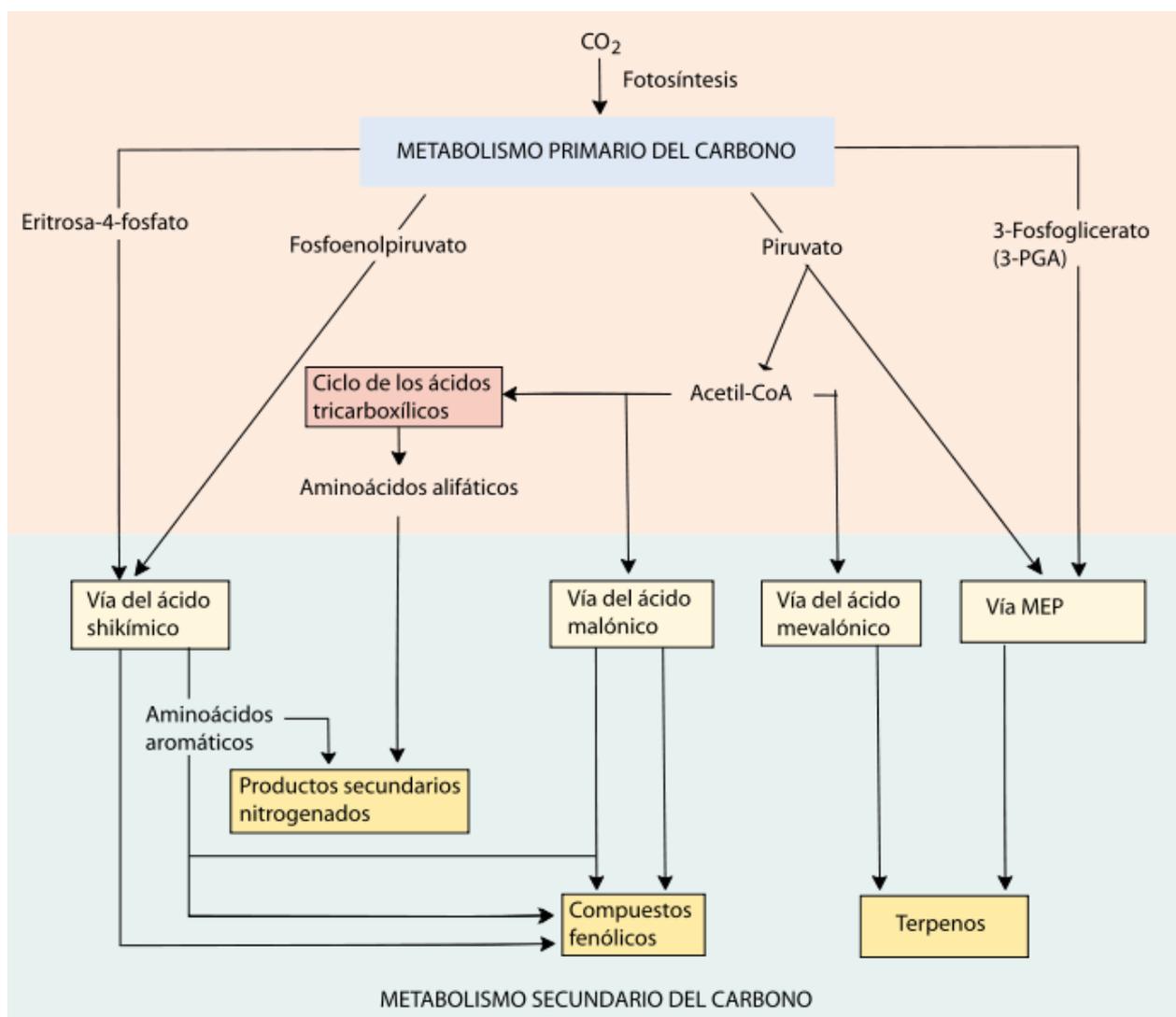
La interacción del hombre con la naturaleza ha generado una gran cantidad de conocimientos científicos y empíricos sobre el aprovechamiento de los recursos que ofrecen las plantas (Chifa, 2010). En todas las épocas, la sociedad humana ha acumulado un vasto arsenal de saberes tradicionales sobre el uso de las plantas medicinales, esto por el importante papel que juegan en el cuidado de la salud de las personas (Cruz, 2007). Con el paso del tiempo y debido al avance de la ciencia y tecnología, se descubrió lo que conocemos como metabolitos secundarios o productos naturales, que ahora se sabe son en su mayoría responsables de la propiedad medicinal de las plantas.

El metabolismo hace referencia a la capacidad de las plantas para transformar moléculas simples en moléculas más complejas o viceversa para garantizar el desarrollo de las funciones vitales, esto es el metabolismo primario. Además, las plantas producen compuestos de diversa naturaleza química que al parecer no tienen una función vital en la planta, ya que pueden variar de una a otra especie, pero la realidad es que sí cumplen diferentes funciones, principalmente protectora contra amenazas de depredadores y otras plantas con las que compiten por el espacio, estos compuestos son llamados metabolitos secundarios o productos naturales (Esquema 1), y han sido aprovechados por el hombre como colorantes, medicamentos, insecticidas, fragancias, entre otros (Dudareva *et al.*, 2006; Dewick, 2009).



**Esquema 1.** Participación de los metabolitos secundarios en la defensa y supervivencia de las plantas (Modificado de Dudareva *et al.*, 2006).

La biosíntesis de productos naturales se lleva a cabo mediante bloques de construcción que incluyen al acetil coenzima A, ácido shikímico, aminoácidos, ácido mevalónico y metileritritol 4-P, de los que se deriva una importante cantidad de productos (Esquema 2) (Taiz y Zeiger, 2006). Las vías metabólicas específicas y especializadas que evolucionaron a partir del metabolismo primario juegan un papel clave en la interacción de la planta con su entorno, generando compuestos agrupados como terpenos, fenoles y alcaloides. En la actualidad, los compuestos obtenidos a partir de plantas aún siguen ofreciendo las mejores opciones para descubrir estructuras novedosas que puedan conducir a agentes terapéuticos efectivos; en los últimos 39 años, se ha reportado que el 23.5 % de los medicamentos aprobados por la *Food and Drug Administration* (FDA) son de origen natural (Newman y Cragg, 2020).



**Esquema 2.** Biosíntesis de metabolitos secundarios (modificado de Taiz, 2007).

En México existe una variedad de tratamientos fitoterapéuticos, además, es uno de los países de mayor riqueza florística, ocupando el cuarto lugar mundial; en su territorio crecen unas 30,000 especies vegetales que representan alrededor del 10 % de la flora del mundo (Villaseñor, 2003). El estado de Michoacán, por su parte, es considerado el quinto estado con mayor riqueza en biodiversidad, ya que cuenta con un importante número de familias vegetales, destacando la Asteraceae, Mimosaceae, Caesalpiniaceae, Burseraceae, Fagaceae, Gramineae, Rubiaceae, Solanaceae, Fabaceae o Leguminosae, que a su vez son las que cuentan con un mayor número de especies útiles (Cué-Bär *et al.*, 2006).

## Antecedentes

La medicina tradicional ha desempeñado un papel importante en el tratamiento de diversas patologías fundamentalmente en los países en desarrollo, en los cuales el 80 % de la población acude a este tipo de medicina para satisfacer las necesidades primarias de salud (Prieto-González *et al.*, 2004). En la actualidad, el uso de plantas medicinales en distintas poblaciones de México sigue siendo tan importante como en la antigüedad, por ejemplo, en Huetamo de Núñez (Figura 1), municipio michoacano, aún prevalecen las costumbres heredadas de generación en generación sobre el uso de plantas medicinales.



**Figura 1.** Localización de Huetamo de Núñez en Michoacán y escudo representativo del municipio (Modificado de Arellano, 2018).

Huetamo es una palabra de origen chichimeca que quiere decir ‘cuatro jefes’ o ‘vienen cuatro’ del chichimeca *hue tamu* y forma parte del nombre de uno de los 113 municipios del estado de Michoacán. Se localiza al sureste del estado a 280 metros sobre el nivel del mar, su clima es tropical y seco estepario con lluvias en verano, y dominan los bosques tropicales espinosos. Sus actividades principales son la ganadería, pesca y agricultura. Su flora es muy variada, encontrándose una diversidad de formas vegetativas, sobre todo en tiempo de lluvias. Su población es mayoritariamente rural, por lo que el uso de plantas medicinales forma parte de la vida cotidiana de sus habitantes. Los conocimientos adquiridos sobre el uso de plantas en esta región, son resultado de herencias familiares. Se hace uso de plantas medicinales principalmente para el tratamiento de diarrea, fiebre, vómito,

heridas, inflamación por golpes, e incluso para enfermedades crónico-degenerativas como cáncer, diabetes y presión arterial. Las plantas que son usadas con frecuencia son obtenidas principalmente del campo, identificándose a través de sus partes aéreas (flores, hojas, frutos). Algunas de las especies vegetales medicinales que se ubican en la región de Huetamo pertenecen al género *Solanum*, que se incluye dentro de la familia Solanaceae.

### **Familia Solanaceae y género *Solanum***

La familia Solanaceae es considerada rica en alcaloides de valor medicinal. Contiene aproximadamente 96 géneros y 2,700 especies, con distribución en regiones tropicales, subtropicales y templadas; incluye especies de importancia económica por su uso alimentario, industrial, ornamental y medicinal. Tiene gran variedad de formas vegetativas y reproductivas, por lo que coloniza distintos tipos de hábitats (Maiti *et al.*, 2002; Sierra-Muñoz *et al.*, 2015).

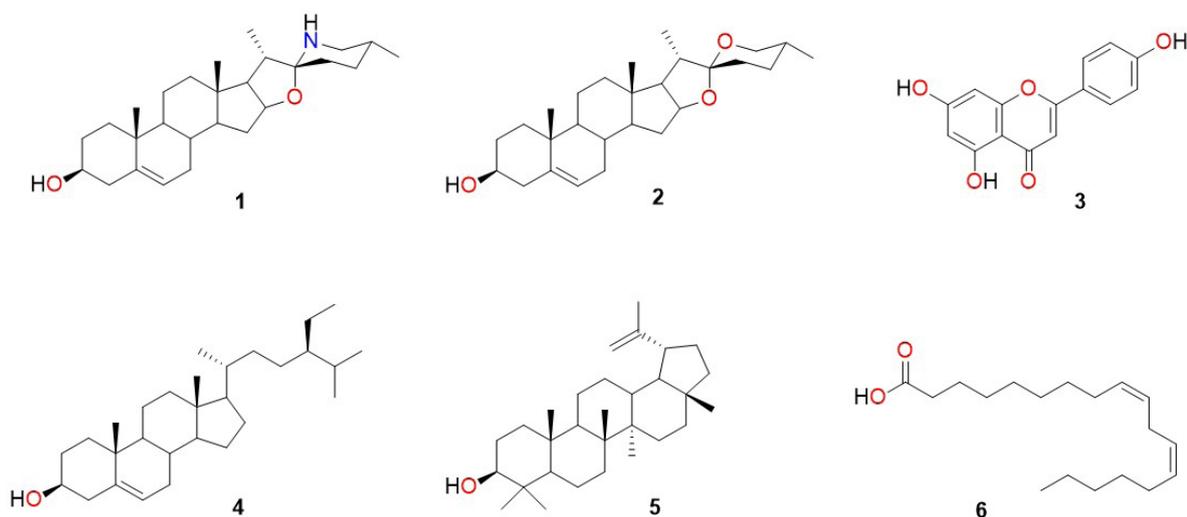
El género *Solanum* es el más grande de la familia Solanaceae y comprende aproximadamente 1,500 especies, se distribuye en regiones tropicales y templadas del mundo, y generalmente incluye plantas importantes en el área agrícola como lo son *Solanum tuberosum* L. (papa) y *Solanum lycopersicum* L. (tomate). En México, los estudios florísticos de las solanáceas son muy desiguales por lo que no se tiene un dato exacto de las especies presentes (Martínez *et al.*, 2017). Las plantas de este género suelen ser herbáceas, arbustivas o trepadoras, con hojas alternas simples o apareadas, la inflorescencia es una cima compuesta, flores relativamente pequeñas, generalmente de color blanco, el fruto es una baya succulenta, con semillas pequeñas, ovoides y comprimidas (Rojas y Rodríguez, 1991). Los estudios realizados de las especies de este género suelen ir encaminados a investigaciones agroalimentaria; sin embargo, existen reportes de especies de importancia medicinal. Una serie de estudios farmacológicos han sido llevados a cabo para validar su uso en la medicina tradicional como analgésico, antiasmático, anticanceroso, antihipertensivo, antiinflamatorio, antinociceptivo, antiviral, diurético, hipolipidémico, espasmolítico, entre otras actividades (Kaunda y Ying-Jun, 2019).

### **Estudios químicos y biológicos de especies del género *Solanum***

En investigaciones fitoquímicas sobre especies de *Solanum* se han identificado compuestos del tipo saponinas esteroidales, alcaloides esteroidales, terpenos, flavonoides, lignanos, esteroides, fenoles, coumarinas, entre otros. En el estudio de extractos de las especies *Solanum americanum*, *S. torvum* y *S. coagulans*, con disolventes de diversas polaridades del fruto, se determinó que son antioxidantes fuertes, lo cual es atribuido a los compuestos fenólicos presentes (Fidrianny *et al.*, 2015). Por otro lado, *Solanum xanthocarpum* es una hierba utilizada en distintas partes de India para tratar hernias y asma; la decocción de raíz es usada como expectorante y diurético, mientras que el fruto es usado como antihelmíntico, antipirético, laxante y antiinflamatorio.

Es interesante su uso en trastornos relacionados con el sistema inmune, por lo que Pandey y colaboradores en 2018, optaron por evaluar el potencial inmunomodulador de esta planta, sentando las bases científicas de su uso tradicional debido a que los experimentos arrojaron como

resultados que el extracto acuoso y etanólico del fruto tiene un potencial inmunoestimulante significativo. En este mismo estudio se informa sobre la presencia de diversos fitoquímicos bioactivos que incluyen solasodina (1), diosgenina (2), apigenina (3),  $\beta$ -sitosterol (4), lupeol (5) y ácido linoléico (6) (Figura 2) (Kumar Pandey *et al.*, 2018).



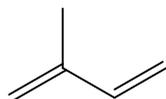
**Figura 2.** Compuestos bioactivos presentes en *Solanum xanthocarpum*.

Otros estudios realizados en México, específicamente en Chiapas (Lozoya *et al.*, 2018), revelaron que el extracto metanólico de las hojas de la especie *S. chrysotrichum* Schldl., conocida comúnmente como «sosa», mostró efectividad en problemas de micosis de la piel por *Tinea pedis* y *Candida albicans*. El mismo extracto inhibió el desarrollo *in vitro* de *Trychophyton menlagrophytes*, *T. rubrum* y *Microsporum gypsum*. Dentro de los metabolitos secundarios presentes en especies del género *Solanum* destacan los terpenos, componentes importantes de las plantas que tienen un papel esencial en cuanto a usos y aplicaciones que se les han venido adjudicando a lo largo del tiempo.

### Terpenos. Grupo importante de componentes vegetales

Los terpenos son moléculas muy abundantes en los vegetales que proceden de la condensación de unidades isoprenoides (Figura 3). Los terpenos, de acuerdo al número de unidades de isopreno, se clasifican en hemiterpenos (una unidad), monoterpenos (dos unidades; incluyen la mayor parte de los aceites esenciales de las plantas), sesquiterpenos (tres unidades), diterpenos (cuatro unidades), triterpenos (seis unidades), tetraterpenos (ocho unidades) y politerpenos; estos pueden estar fun-

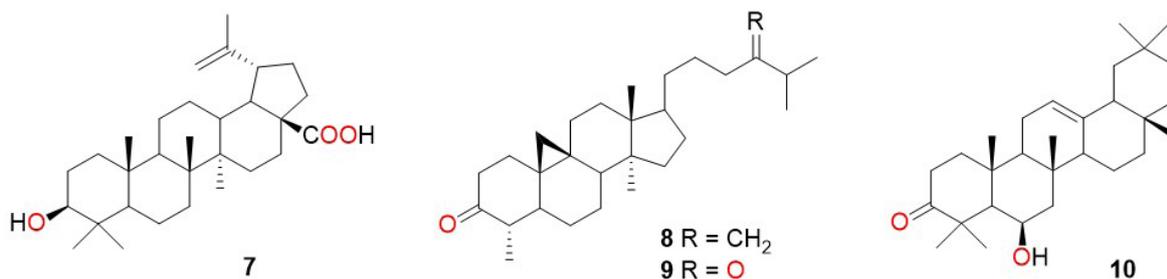
cionalizados con grupos ácido carboxílico, hidroxilo, cetona, aldehído, ésteres (Álvarez, 2014). Las moléculas de bajo peso molecular (monoterpenos y sesquiterpenos) son comercialmente importantes por su uso como aromas y fragancias, en alimentación y cosmética. Otros compuestos terpenoides tienen importancia medicinal por sus propiedades anticancerosas, antimicrobianas, antiviral y antiinflamatorias (Macías *et al.*, 2010).



**Figura 3.** Unidad de isopreno.

### Triterpenos

Los triterpenos, conocidos también como triterpenoides, representan un amplio grupo de metabolitos distribuidos en la naturaleza tanto en el reino vegetal como en el reino animal. Son compuestos de 30 átomos de carbono producidos por ciclación del escualeno (Xu *et al.*, 2004), se encuentran tanto en forma libre como asociada a azúcares. Existen más de 5,000 triterpenoides descritos con más de 100 esqueletos de carbono diferentes y estructuras cíclicas relativamente complejas. En los últimos 30 años se han reportado 128 estructuras de terpenos del género *Solanum*, y han tomado relevancia debido al amplio espectro de actividades biológicas que presentan, entre los que destaca el ácido betulínico (7), los cicloartanos (8 y 9) por su actividad antitumoral y antinociceptiva (Keaw-sard *et al.*, 2012) (Figura 4), que han sido motivo de estudio por sus propiedades antiinflamatorias.



**Figura 4.** Triterpenoides aislados de *Solanum* spp.

A menudo, los compuestos se extraen de plantas secas de una misma especie, y con diferen-

tes tejidos se obtienen perfiles diversos de metabolitos especializados. Para los químicos de productos naturales, estas características vegetales son de suma importancia porque gracias a ello se han logrado aislar moléculas que sirven como modelos para sintetizar fármacos que actualmente se encuentran en el mercado. Adicionalmente, el estado fisiológico, ambiental y la etapa de desarrollo de la planta puede afectar el contenido de compuestos especializados de una especie determinada por los procesos bioquímicos, como la sensibilidad de las plantas a los cambios climáticos que es bien conocido, aunque poco entendido desde un punto de vista más general. El uso de productos naturales biológicamente activos es importante, ya que alrededor del 49 % de todas las moléculas anticancerosas se desarrollaron, en los últimos 30 años, con productos naturales o derivados directamente de ellos (Arreaga-González *et al.*, 2019).

## Justificación

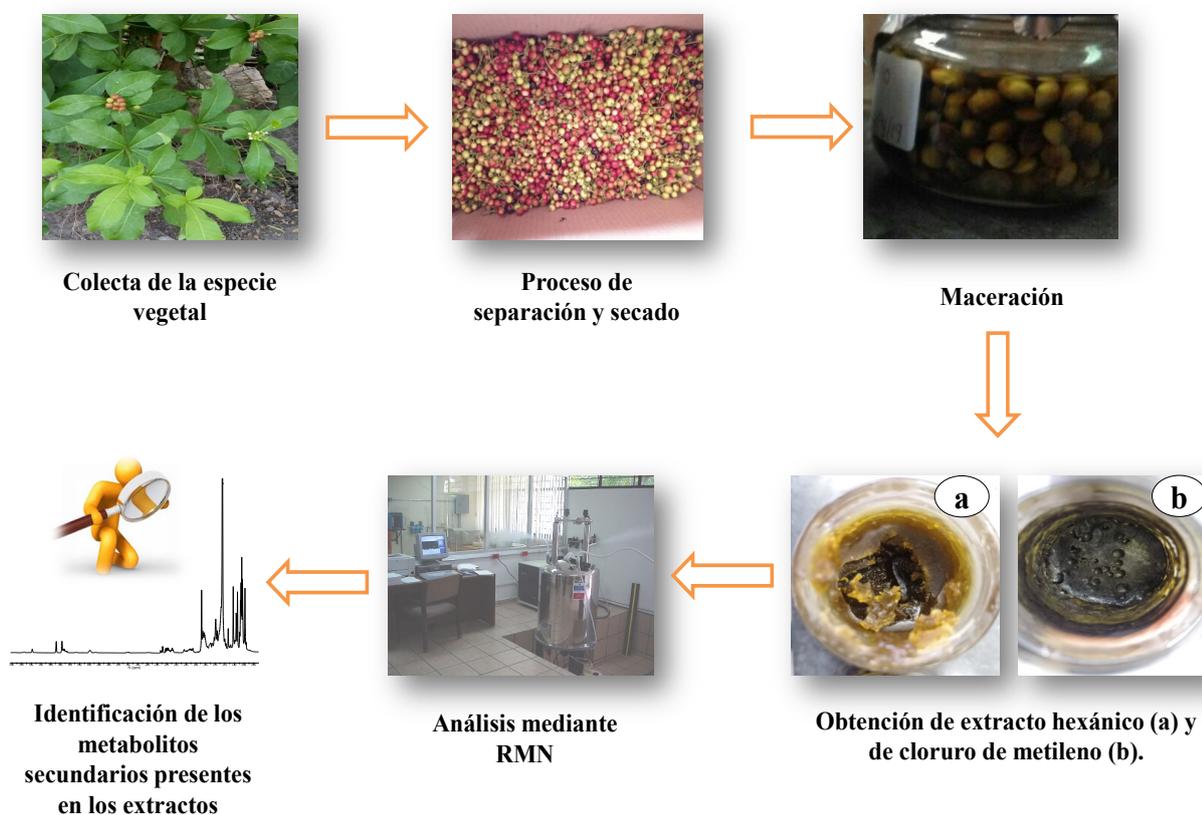
Sentar las bases científicas del uso tradicional de una planta es una tarea de gran importancia que compete a un campo multidisciplinario, destacando la participación del área de investigación de química de productos naturales para caracterizar los metabolitos secundarios de plantas de diversa índole, incluyendo plantas medicinales. Se han reportado moléculas con propiedades bioactivas del género estudiado, de ahí la importancia del presente trabajo que pretende realizar un estudio químico de extractos de hexano y cloruro de metileno del fruto de *Solanum* sp, planta conocida comúnmente en Huetamo de Núñez, Michoacán, como «coralillo», utilizada principalmente como remedio cicatrizante. Con los resultados obtenidos se realizará la asociación del uso de la planta con lo observado en el análisis de los extractos.

## Objetivos

- Realizar un estudio fitoquímico preliminar y determinar la presencia de triterpenos en los frutos de *Solanum* sp.
- Obtener los extractos de hexano y cloruro de metileno del fruto de *Solanum* sp.
- Identificar los componentes mediante datos espectroscópicos.

## Metodología

La metodología se resume a continuación (Esquema 3):



**Esquema 3.** Metodología para la realización del trabajo de investigación.

## Materiales y métodos

La colecta de la especie vegetal se llevó a cabo en el mes de agosto de 2019 en el municipio de Huetamo de Núñez, Michoacán. La planta se separó en sus distintas partes: hoja, tallo y fruto. El fruto se sometió a un proceso de secado a temperatura ambiente durante 15 días aproximadamente. Transcurrido este tiempo, el material seco fue triturado en un molino mecánico; posteriormente 560 g de fruto seco y pulverizado se colocaron en maceración con 1.6 L de hexanos durante tres días a temperatura ambiente, pasados estos días, se filtró y evaporó el disolvente en rotavapor a presión reducida, el proceso se realizó en dos ocasiones y se obtuvo el extracto hexánico total. Posteriormente, se llevó a cabo la maceración del fruto molido con cloruro de metileno con el procedimiento anteriormente descrito para obtener el respectivo extracto total. Paralelamente, un nuevo lote de fruto molido de *Solanum* sp fue sometido a extracción mediante reflujo con hexanos durante seis horas. El extracto total se obtuvo con el mismo proceso descrito anteriormente. Esta variación experimental permitió obtener los mismos resultados que los de la extracción por maceración, pero en tiempos reducidos.

Los espectros de RMN de  $^1\text{H}$  a 400 MHz, se midieron en un aparato Varian Mercury Plus-400. En todas las determinaciones se utilizó como disolvente deuterocloroformo ( $\text{CDCl}_3$ ) y como referencia interna tetrametilsilano (TMS). Los espectros fueron procesados en el software MestReNova.

## Análisis de resultados

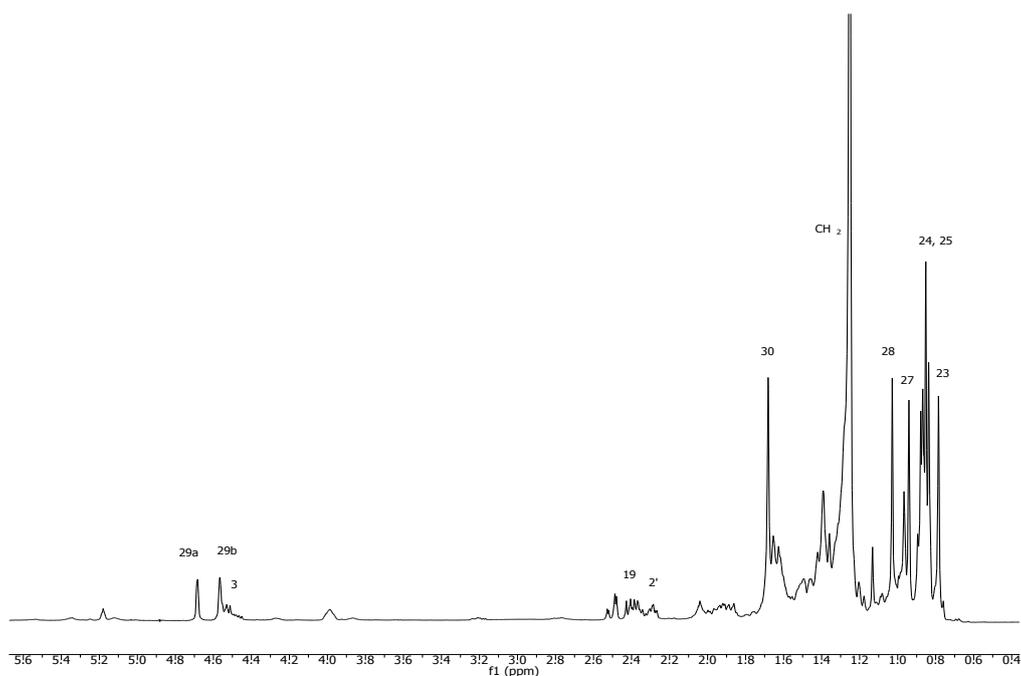
El extracto hexánico del fruto de *Solanum* sp se obtuvo como una miel café; por su parte, el extracto de cloruro de metileno como miel de color verde oscuro. Los rendimientos obtenidos de dichos extractos se aprecian en la Tabla 1.

**Tabla 1**  
Rendimientos totales obtenidos de los extractos del fruto de *Solanum* sp.

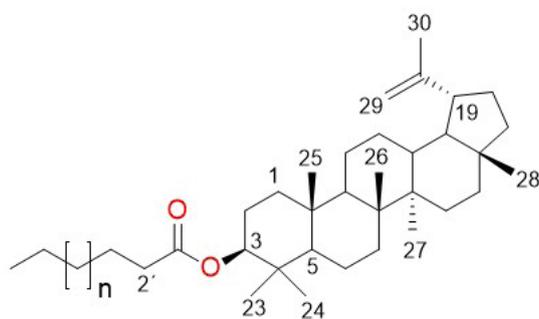
<b>Fruto de <i>Solanum</i> sp (560 g)</b>		
Disolvente	Peso (g)	Porcentaje (%)
Hexanos	67.80	12.11
Cloruro de metileno	4.90	0.88

Una muestra de cada extracto se analizó mediante RMN de  $^1\text{H}$ . En el espectro del extracto hexánico (Figura 5) se observa en 4.66 y 4.52 ppm, señales asignadas a protones vinílicos H-29a y H-29b; en 4.45 ppm se encuentra una señal múltiple perteneciente a un protón base de éster H-3; en 2.37 ppm se observa una señal que es asignada al protón en posición alílica H-19; también se aprecia en 2.25 ppm una señal característica del metileno alifático H-2' en posición *a* al carbonilo de éster; en frecuencias bajas se observan entre 1.00 y 0.82 ppm, señales simples características de metilos; la señal simple intensa en 1.25 ppm indica la presencia de una cadena alifática. Los datos fueron comparados con la literatura (Arreaga González, 2013), concluyendo que se trata de un derivado del lupeol esterificado con un ácido graso como componente mayoritario. Estos compuestos con esqueleto de lupeol ya han sido objeto de ensayos biológicos en lo que respecta a sus propiedades antiinflamatorias, se ha comprobado que suprimen la producción de superóxidos en neutrófilos humanos, proceso relacionado con la inflamación, por lo que este tipo de moléculas puede asociarse con el uso que se da en medicina tradicional del fruto de *Solanum* sp, ya que el proceso de inflamación es una de las fases iniciales cuando se produce una herida (Lopes *et al.*, 2014).

El análisis por RMN de  $^1\text{H}$  del extracto de cloruro de metileno mostró el mismo patrón de señales observadas en el espectro del extracto hexánico, lo cual indica que se extraen compuestos de la misma índole.



**Figura 5.** Espectro de RMN de  $^1\text{H}$  a 400 MHz en  $\text{CDCl}_3$  del extracto hexánico de fruto de *Solanum* sp.

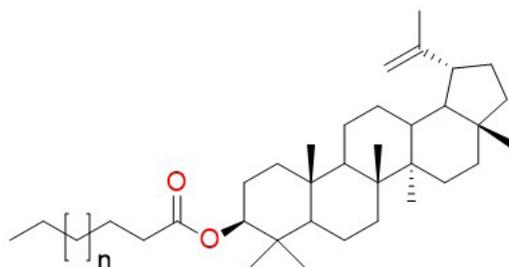


## Conclusiones

El análisis de los espectros de RMN de  $^1\text{H}$  de los extractos de hexano y cloruro de metileno permitió observar la composición y naturaleza química de los metabolitos presentes en el fruto de *Solanum* sp., indicando que ambos extractos presentaban la misma composición química. Se iden-

tificaron mayoritariamente triterpenoides funcionalizados. Las señales se caracterizaron mediante la comparación realizada con los datos encontrados en la literatura, concluyendo que el compuesto mayoritario corresponde a un éster de lupeol (Figura 6). Actualmente se lleva a cabo el proceso de separación y purificación de los metabolitos secundarios de los extractos. La determinación del peso molecular permitirá conocer el tamaño de la cadena del éster, una vez que se obtenga el compuesto puro. El lupeol (5) ha sido aislado de otras especies del género como *S. cathayanum*, *S. schimperianum*, *S. spirale* (Al-Oqail *et al.*, 2012); sin embargo, esta es la primera vez que se obtiene de manera esterificada.

A este tipo de moléculas se les puede relacionar con la actividad cicatrizante que es referida en el uso del fruto de «coralillo» en medicina tradicional, ya que suelen participar con efectos antiinflamatorios y propiedades citotóxicas que van de la mano con procesos antiinflamatorios y en sinergismo con otros fitoesteroles, manifiesta un papel importante en células endoteliales suprimiendo el crecimiento de tumores. Lupeol está involucrado en la regeneración de tejidos, lo que sugiere que puede servir como opción terapéutica en tratamientos cutáneos o heridas mediante mecanismos reguladores implicados en las fases inflamatoria, proliferativa y de regeneración (Pereira Beserra *et al.*, 2020).



**Figura 6.** Triterpenoide esterificado derivado del lupeol.

## Bibliografía

- Álvarez, M.E. (2014). Plant secondary metabolism. *Plant biotechnology for health* (Capítulo 3, pp. 15-31), Springer International Publishing, Switzerland, AG.
- Arreaga González, H.M. (2013). *Estudio Químico de los extractos metanólicos de Ageratina glabrata* [Tesis de Licenciatura], UMSNH, Facultad de Químico Farmacobiología, Morelia, Michoacán.
- Arreaga-González, H.M., Rodríguez-García, G., Del Río, R.E., Ferreira-Sereno, J.A., García-Gutiérrez, H.A., Cerda-García-Rojas, C.M., Joseph-Nathan, P. y Gómez-Hurtado M.A. (2019). Configurational variation of a natural compound within its source species. The unprecedented case of areolal in *Piptothrix areolare*. *Journal of natural products*, 82(12), 3394-3400.

- Chifa, C. (2010). La perspectiva social de la medicina tradicional. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 4, 242-245.
- Cruz, J. (2007). *Más de 100 plantas medicinales*, Las palmas de Gran Canaria, España, Editado por la Obra Social de la Caja de Canarias.
- Cué-Bär, E., Villaseñor, J., Arredondo-Amezcuca, L., Cornejo-Tenorio, G. e Ibarra-Manríquez, G. (2006). La flora arbórea de Michoacán, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 78, 47-81.
- Dewick, P.M. (2009). *Medicinal Natural Products: A Biosynthetic Approach* [3ª ed.], Reino Unido, Inglaterra, Ed. Wiley.
- Dudareva, N., Negre, F., Nagegowda, D. y Orlova, I. (2006). Plant Volatiles: Recent Advances and Future Perspectives. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25(5), 417-440.
- Fidrianny, I., Rizkiya, A. y Ruslan, K. (2015). Antioxidant activities of various fruit extracts from three *Solanum sp* using DPPH and ABTS method and correlation with phenolic, flavonoid and carotenoid content. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(5), 666-672.
- Kaunda, S.J. y Ying-Jun, Z. (2019). The genus *Solanum*: An ethnopharmacological, phytochemical and biological properties review. *Natural Products and Bioprospecting*, 9, 77-137.
- Keawsa-ard, S., Natakankitkul, S., Liawruangrath, S., Teerawutgulrag, A., Trisuwan, K., Charoenying, P., Pyne, S. y Liawruangrath, B. (2012). Anticancer and antibacterial activities of the isolated compounds from *Solanum spirale* Roxb. Leaves, *Chiang Mai J. Sci.*, 39(3), 445-454.
- Kumar Pandey, R., Shankar Shukla, S., Jain, A., Jain, A., Bihari Gupta, V. y Deb, L. (2018). Evaluation of Comparative Immunomodulatory Potential of *Solanum xanthocarpum* root and fruit on experimental animal. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 52(4), 237-245.
- Lopes, L., Carvalho, J.E., Kakimore, M., Vendramini-Costa, D.B., Medeiros, M.A., Spindola, H., Ávila-Román, J., Lourenço, A.M. y Motilva, V. (2014). Pharmacological characterization of *Solanum cernuum* Vell.: 31-norcycloartanones with analgesic and anti-inflammatory properties. *Inflammopharmacology*, 22(3), 179-185.
- Lozoya, X., Navarro, V., García, M. y Zurita, M. (1992). *Solanum chrysotrichum* (Schldl.) a plant used in Mexico for the treatment of skin mycosis. *Journal of Ethnopharmacology*, 36(2), 127-132.
- Macías, V.E., Álvarez, J.M. y Suárez, H. (2010). Terpenos con actividad biológica Anti-VIH. *DUAZARY*, 7(2), 257-273.
- Mai Al-Oqail, M., Hassan, W., Ahmad, M. y Al-Rehaily, A. (2012). Phytochemical and biological studies of *Solanum schimperianum* Hochst, *Saudi Pharmaceutical Journal*, 20(4), 371-379.
- Maiti, R.K., Villarreal, R.L., Treviño, V.A. y Valades-Cerda, M.C. (2002). Some Aspects on Pharmacognosy of ten species of the family Solanaceae utilized in traditional medicine. *Caldasia*, 24(2), 317-321.
- Martínez, M., Vargas-Ponce, O., Rodríguez, A., Chiang, F. y Ocegueda, S. (2017). *Solanaceae* family in Mexico. *Botanical Sciences*, 95(1), 131-145.
- Newman, D. y Cragg, G. (2020). Natural products as sources of new drugs over the nearly four, decades from 01/1981 to 09/2019. *Journal of Natural Products*, 83(3), 770-803.
- Pereira Beserra, F., Sérgio Gushiken, L., Vieira, A., Bérghamo, D., Bérghamo, P., Oliveira de Souza, M., Hussni, C., Kiomi Takahira, R., Henrique Nóbrega, R., Monteiro Martinez, E., John Jackson, C., Azevedo Maia de, G., Leite Rozza, A. y Pellizzon, C. (2020). From inflammation to cutaneous repair: Topical application of lupeol

improves skin wound healing in rats by modulating the cytokine levels, NF- $\kappa$ B, Ki-67, growth factor expression, and distribution of collagen fibers. *International Journal of Molecular Science*, 21(14), 1-22.

Prieto-González, S., Garrido-Garrido, G., González-Lavauto, J. y Molina-Torres, J. (2004). Actualidad de la Medicina Tradicional Herbolaria. *CENIC Ciencias Biológicas*, 35(1), 19-36.

Rojas Benítez, C., y Rodríguez, P. (1991). Taxonomía y Anatomía de *Solanum* sect. *Brevantherum* seithe (Solanaceae) en Venezuela. *Anales Jardín Botánico de Madrid*, 49(1), 167-176.

Sierra-Muñoz, J.C., Siqueiros-Delgado, M.E., Flores-Ancira, E., Moreno-Rico, O. y Arredondo-Figueroa, J.L. (2015). Riqueza y Distribución de la Familia *Solanaceae* en el estado de Aguascalientes, México. *Botanical Science*, 93(1), 97-117.

Taiz, L. y Zeiger, E. (2006). Secondary Metabolites and Plant Defense. *Plant Physiology* (4 ed., Capítulo 13), Sinauer Associates, California, Los Angeles, Inc.

Villaseñor, J.L. (2003). Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia*, 28(3), 160-167.

Xu, R., Fazio G.C. y Matsuda, S. (2004). On the origins of triterpenoid skeletal diversity. *Phytochemistry*, 65(3), 261-291.

## **Historia de los antecedentes fitoquímicos de los hipoglicemiantes y antihiperghlicemiantes modernos**

### ***Revisión***

Chantal Charlotte Rosales Ceja  
Lucia Matilde Nava Barrios  
Cesar Rogelio Solorio Alvarado  
Víctor Meza Carmen  
Rafael Ortiz Alvarado.

### **Introducción**

Dentro de la formación de los futuros profesionales de las áreas de las ciencias químicas como la química orgánica y áreas afines como las ciencias médicas, las ciencias farmacéuticas, bioquímica y biotecnológica, se ha encontrado que uno de los problemas del aprendizaje significativo a los que se enfrentan los estudiantes de estas disciplinas, radica en poder comprender los fundamentos básicos referentes a los antecedentes de los principios activos (químicos) de los productos con actividad farmacológica en la disminución de la glucosa sérica en los pacientes con algún tipo de diabetes. En este sentido, el presente trabajo recapitula sobre los primeros productos de tipo fitoquímico que sirvieron de fundamento para los actuales hipoglicemiantes (Shapiro *et al.*, 1959) y antihiperghlicemiantes, los cuales tienen estructuras químicas similares, pero que los cambios estructurales en la actual síntesis química y el concepto en la relación estructura-función los clasifica de manera clara para el tratamiento integral de los diferentes tipos de diabetes *mellitus*, como a) hipoglicemiantes y b) antihiperghlicemiantes, los cuales suelen ser confundidos por los estudiantes de las áreas afines a las Ciencias Químicas.

En el presente trabajo se establece la clara diferencia en las estructuras químicas y sus funciones biológicas (acción farmacológica) para esclarecer, desde el punto de vista químico, la diferencia de acción y estructura química significativa como una herramienta para la enseñanza de química orgánica, aplicada al tratamiento integral y no fragmentado de la diabetes *mellitus*, como un problema de salud con enfoque multidisciplinario.

### **Antecedentes históricos de la metformina y presentaciones farmacéuticas**

La metformina se utiliza actualmente como parte del tratamiento para la diabetes *mellitus* de tipo 2; sin embargo, existen evidencias documentales dentro del folklore europeo que hace referencia al uso de la *Galega officinalis* (Duke, 2002), planta que contiene guanidina (Figura 2) que ha mostrado actividad en la disminución de la concentración de la glucosa sérica, y fue la base de la investigación

que ha llevado hasta la síntesis y caracterización farmacológica de la actual metformina (Bailey y Day, 1989). Y aunque existe la síntesis química y la obtención de moléculas con actividad farmacológica, se sigue referenciando en las actuales farmacopeas el uso de plantas como *G. officinalis* para el tratamiento de la diabetes *mellitus* de tipo 2 (Bailey y Day, 1989).

Debido a la toxicidad de la guanidina, en el siglo XX se experimentó con el uso de derivados de esta, obteniéndose en los ensayos clínicos la isomilena guanidina con una menor toxicidad. A comienzos de los años 30 del siglo pasado, se inicia con el uso de moléculas sintéticas como la decametileno-diguanida (Synthalin A) y la dodecametileno diguanida (Synthalin B) (Keighley, 1976), las cuales fueron mejor toleradas en los ensayos clínicos, esta última fue utilizada ampliamente en la Alemania de la Segunda Guerra Mundial (Chen y Anderson, 1947). Estas investigaciones fueron las precursoras de las primeras biguanidas sintéticas como la dimetilbiguanida que en animales disminuyó la concentración de glucosa y mostró ser menos tóxica que las moléculas anteriormente descritas, pero no se probó en ensayos clínicos durante los años 30, sino hasta que Jean Sterne en colaboración con Denise Duval en Francia, en 1956, comenzaron a utilizar estas moléculas con actividad hipoglicémica y antihiperlipidémicas en pacientes con diabetes *mellitus* de tipo 2, describiendo las propiedades farmacológicas de varias de estas biguanidas (Nattrass y Alberti, 1978). Así, el grupo de Sterne seleccionó a la dimetilbiguanida (metformina) para la descripción clínica completa de la misma en pacientes con diabetes *mellitus* de tipo 2. Por lo tanto, esta molécula tiene como fundamento los trabajos realizados por diferentes investigadores entre los que destacan Jean Sterne, quien realizó trabajos clínicos con esta molécula que fueron publicados en 1957 (Sterne, 1957).

## **Objetivo**

Realizar una revisión referente a las moléculas químicas utilizadas dentro del tratamiento integral de la diabetes *mellitus*.

## **Objetivo Específico**

Poner de relevancia la relación estructura-función de las moléculas químicas y su actividad farmacológica específica en el tratamiento de la diabetes *mellitus*.

La clasificación de la diabetes ha ido cambiando, así como el tratamiento que se emplea para cada caso. Sin embargo, todos convergen en un punto común: el exceso de glucosa en sangre. Lo anterior ha generado una gran cantidad de tratamientos o fármacos de administración oral contra la diabetes, entre los que distinguimos siete grupos principales:

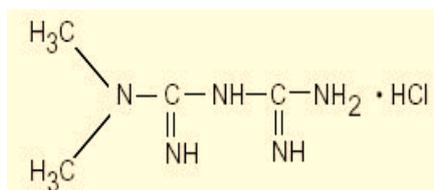
1. Bisguanidinas
2. Tiazolidindionas (glitazonas)
3. Sulfonilureas
4. Meglitinidas (glinidas)

5. Inhibidores de la dipeptidil peptidasa 4 (DPP 4)
6. Agonistas del Péptido 1 similar al glucagón (GLP-1)
7. Inhibidores de la alfa glucosidasa

El grupo más representativo es el de las bisguanidinas, ya que son los compuestos más comerciales y estudiados hasta la fecha. En este grupo centraremos el desarrollo del presente proyecto, específicamente en la Metformina ya que ha sido base de otros fármacos importantes como phenformina o buformina (Figura 2).

### Presentación farmacéutica de la metformina

El clorhidrato de metformina es un compuesto cristalino blanco con una fórmula molecular  $C_4H_{11}N_5 \cdot HCl$  y peso molecular de 165.63, el cual es soluble en agua y prácticamente insoluble en acetona, éter etílico y cloroformo. El pKa de la metformina es de 12.4. El pH de una solución acuosa al 1 % de clorhidrato de metformina es de 6,68. Las formas farmacéuticas se presentan como tabletas que contienen concentraciones de 500 mg, 850 mg, y 1000 mg de clorhidrato de metformina. Cada tableta contiene ingredientes inactivos como excipientes povidona, polietilen-glicol y estearato de magnesio. Adicionalmente, la cubierta para las tabletas puede contener lactosa monohidratada y dióxido de titanio.



**Figura 1.** Estructura química de la forma farmacéutica del clorhidrato de metformina.

### Farmacología clínica (Mecanismos de acción)

La metformina es un agente antihiperглиcémico el cual mejora la tolerancia a la glucosa en pacientes con diabetes *mellitus* de tipo 2, disminuyendo la concentración de glucosa sérica en ayuno y la posprandial. El mecanismo de acción es diferente de otras clases de antihiperглиcémicos orales. La metformina disminuye la síntesis de la glucosa a nivel hepático y permite un decremento de la

absorción de la glucosa nivel intestinal y mejora la sensibilidad de la glucosa sérica para su metabolismo a través de los músculos y otras células a nivel sistémico. A diferencia de las sulfonilureas, la metformina no produce estados hipoglicemiantes en los pacientes con diabetes *mellitus* de tipo 2 o pacientes normoglicémicos y la secreción de insulina permanece sin cambios, mientras que los niveles de insulina en ayuno y la respuesta plasmática de insulina durante un día pueden disminuir. Resta establecer si no causa hiperinsulinemia.

## **Farmacocinética**

La biodisponibilidad de la metformina en presentación en tabletas de 500 mg presenta una concentración sérica de aproximadamente 50 al 60 % al término de seis horas después de su ingesta, existe una interacción con la ingesta alimentaria en donde los alimentos disminuyen la extensión de la metformina y retrasan ligeramente la absorción de la metformina, como se muestra aproximadamente una concentración plasmática máxima (concentración máxima) del 40 % inferior, un área 25 % inferior bajo la curva de concentración plasmática *versus* tiempo y una prolongación de 35 minutos (Howlett y Bailey, 1999).

## **Moléculas anteriores a la metformina**

La fenformina y la buformina presentaron una mayor actividad hipoglicemiante que la metformina e inicialmente disfrutaron de un mayor uso (Schafer, 1983), pero su asociación con la acidosis láctica llevó a la discontinuación en la mayoría de los países en los años setenta del siglo pasado (Bailey y Day, 1989). Así, el uso de la metformina pudo haber sido retrasada por la asociación y comercialización con phenformina y buformina, pero la creciente evidencia confirma la eficacia antihiper glucémica de la metformina sin comprometer estados hipoglicemicos o aumento significativo de triglicéridos a nivel sérico (Schafer, 1983).

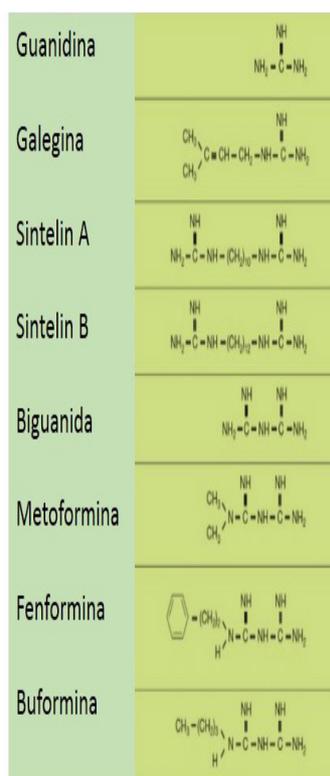
## **Comercialización**

El Dr. Gerry Daniel, director ejecutivo de Lipha Pharmaceuticals (ahora Merck), desarrolló comercialmente la metformina en 1995 en los Estados Unidos, consiguiendo la autorización del FDA y siguió comercializándose bajo la franquicia de Bristol Myers Squibb. La metformina se mezcla con otros agentes antidiabéticos.

Otras biguanidas y derivados de guanidina como agentes con potencial antidiabético (Bekman, 1971), han sido documentados; sin embargo, los diferentes mecanismos de acción y variabilidad en la farmacocinética no han permitido su uso por sí mismo como el de la metformina, a la cual le confieren una relación riesgo-beneficio adecuada para el tratamiento de los pacientes con diabetes *mellitus* de tipo 2 (Howlett y Bailey, 1999; Wiernsperger, 1996).

## Impacto en México

Conforme a la Federación Mexicana de Diabetes A.C., la diabetes se encuentra entre las primeras causas de muerte en nuestro país. En 2012 se diagnosticaron en México 6.4 millones de personas con la enfermedad, prevaleciendo de manera más significativa en el Distrito Federal, Nuevo León, Veracruz, Tamaulipas, Durango y San Luis Potosí. Lo anterior representa un grave problema social, no solo desde el punto de vista de salud, sino en términos económicos, ya que este padecimiento implica un gasto tremendo para el país, pues se estima que se necesitan alrededor de 3,430 millones de dólares anualmente para dar tratamiento y atención de manera general.



**Figura 2.** Estructura química de moléculas con actividad hipoglicemiante y antihiperlicemiante.

## Conclusiones

El presente trabajo pone de manifiesto la clara prevalencia de las ciencias químicas en el diseño de moléculas con actividad hipoglicemiante desde sus inicios hasta las actuales moléculas antihi-

perglicemiantes como la metformina, por esta razón, los profesionales de las ciencias de la salud y las áreas de la biotecnología, deben conocer los fundamentos fitoquímicos y de química orgánica para poder entender los mecanismos específicos de acción en el tratamiento de la diabetes *mellitus*, donde la Química Orgánica tiene todavía mucho por decir en el tratamiento de esta enfermedad.

## **Agradecimientos**

A la Coordinación de la Investigación Científica, convocatoria 2019-2020. CAEC-211 UMSNH.

## **Bibliografía**

- Bailey, C. J. y Day, C. (1989). Traditional plant medicines as treatments for diabetes. *Diabetes Care*, 12(8), 553-564.
- Beckman, R. (1971). Biguanide (Expermenteller Teil). En *Handbook of experimental pharmacology* 29 (pp. 439-596), Maske H (ed.). Berlin, Springer Verlag.
- Chen, K. K. y Anderson, R. C. (1947). The toxicity and general pharmacology of N1-p-chlorophenyl-N5-isopropyl biguanide. *J Pharmacol Exp Ther*, 91(2), 157-160.
- Duke, J. A. (2002). *Handbook of medicinal herbs* [2 ed.], CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Howlett, H. C. y Bailey, C. J. (1999). A risk-benefit assessment of metformin in type 2 diabetes *mellitus*. *Drug Safety*, 20(6), 489-503.
- Keighley, U. K. (1976). *British Herbal Pharmacopoeia*: British Herbal Medicine Association.
- Natrass, M., Alberti, K. G. M. M. (1978). Biguanides. *Diabetologia*, 14(2), 71-74.
- Schafer, G. (1983). Biguanides: a review of history, pharmacodynamics and therapy. *Diabetes Metab Rev*, 9(2), 148-163.
- Shapiro, S. L., Parrino, V. A., Freedman, L. (1959). Hypoglycemic Agents. IV.<sup>1-3</sup> N<sup>1</sup>, N<sup>5</sup>-Alkyl- and Aralkylbiguanides. *J Am Chem Soc*, 81(17), 4635-4639.
- Sterne, J. (1957). Du nouveau dans les antidiabetiques. La NN dimethylamineguanyl guanide (N.N.D.G.). *Maroc Med*, 36, 1295-1296.
- Wiernsperger, N. F. (1996). Preclinical pharmacology of biguanides. *Handbook of Experimental Pharmacology*, 119, 305-358.

## Efecto antioxidante de la *CURCUMA LONGA*

Elda Araceli García Mayorga  
Rosalinda Gutiérrez Hernández  
Claudia Araceli Reyes Estrada  
Blanca Patricia Lazalde Ramos  
Maureen Patricia Castro Lugo  
Lourdes Lizbeth Rocha Aguirre  
Nora de la Fuente de la Torre

### Introducción

Existen nutrientes en nuestro organismo que tienden a neutralizar los radicales libres (especies químicas no apareadas) a los que estamos expuestos diariamente. Estos nutrientes liberan electrones en nuestra sangre que son captados por los radicales libres convirtiéndolos en moléculas estables. A los compuestos con esta capacidad se les conoce como antioxidantes, y estudios recientes han demostrado que pueden ser la protección más eficaz contra el envejecimiento celular y las enfermedades degenerativas (Zamora, 2007).

Dada la importancia fisiológica del hígado, se hace patente que cualquier alteración de su funcionalidad implica graves trastornos en el organismo que pueden incluso conducir a la muerte (Tovar *et al.*, 2007). Las posibilidades terapéuticas en las distintas alteraciones hepáticas son realmente escasas. Aún no se ha encontrado un tratamiento efectivo, aunque estudios preclínicos han demostrado que algunos fármacos como Colchicina, Propranolol (Cortez-Pinto, 2002), Propiltiouracilo, S-adenosil metionina, Malotilato, Insulina, Glucagon y Cianidanol, tienen efectos sobre las enfermedades hepáticas (Parés *et al.*, 1998). El mundo vegetal es parte importante de los recursos naturales disponibles en el tratamiento de este tipo de daños. Para el caso de alteraciones hepáticas ocasionadas por sustancias tóxicas, se ha documentado la *Curcuma longa* L. (Piero *et al.*, 2017), *Rosmarinus tormentosus* (Navarro, 1992), *Thymus vulgaris*, *Origanum vulgare* y *Origanum majorana* (Nakatani, 2000), además de la *Silybum marianum* y la *Picrorrhiza kurrooa*, entre otros.

La *C. longa* al ser una molécula pluripotente, puede actuar directa e indirectamente o modular la actividad de las moléculas diana para regular determinadas funciones (González *et al.*, 2015). Se le atribuye efectos como hipolipemiente, antioxidante, antiinflamatorio, hipoglucemiante, por mencionar algunos (Ravindran *et al.*, 2007).

En este sentido, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto antioxidante de la *Curcuma longa* a través de la realización de la prueba de lipoperoxidación posterior a la inducción de un proceso inflamatorio con liberación de radicales libre o proceso de oxidación inducida por tetracloruro de carbono (CCl<sub>4</sub>) en un modelo experimental en ratas macho de la cepa Wistar.

## Desarrollo

El cuerpo humano está constituido por átomos que se agrupan en moléculas. Una molécula estable contiene átomos con electrones apareados. Los radicales libres son cualquier molécula inestable e independiente que contiene uno o más electrones sin aparear que ocupan un orbital atómico o molecular de forma individual. Los radicales libres son muy reactivos, y con vida media muy corta (Corrales y Ariza, 2012), en general, reaccionan de forma rápida con otras moléculas (Rodríguez-Perón *et al.*, 2001).

Estas moléculas inestables recorren nuestro cuerpo con la tendencia a atrapar un electrón para recuperar su estabilidad electroquímica, lo que las hace muy peligrosas porque para conseguirlo atacan moléculas estables. Una vez que el radical libre ha conseguido atrapar el electrón que necesita para aparear su electrón libre, la otra molécula se convierte a su vez en un radical libre, iniciando así un ciclo destructivo para las células (Milián *et al.*, 2005).

Existen varias patologías que se han relacionado con un estado celular llamado estrés oxidativo, fenómeno que ocurre por la producción excesiva de radicales libres, siendo estas especies que reaccionan con las biomoléculas que conforman nuestro organismo, modificando su estructura y su función biológica (Tognetti *et al.*, 2012). Los que más predominan son las especies reactivas de oxígeno producidas por diferentes fuentes como la radiación por luz ultravioleta, contaminantes ambientales, metabolismo de diversos compuestos, patologías crónicas degenerativas, entre otras (León Pérez y Larrondo Muguercia, 2000).

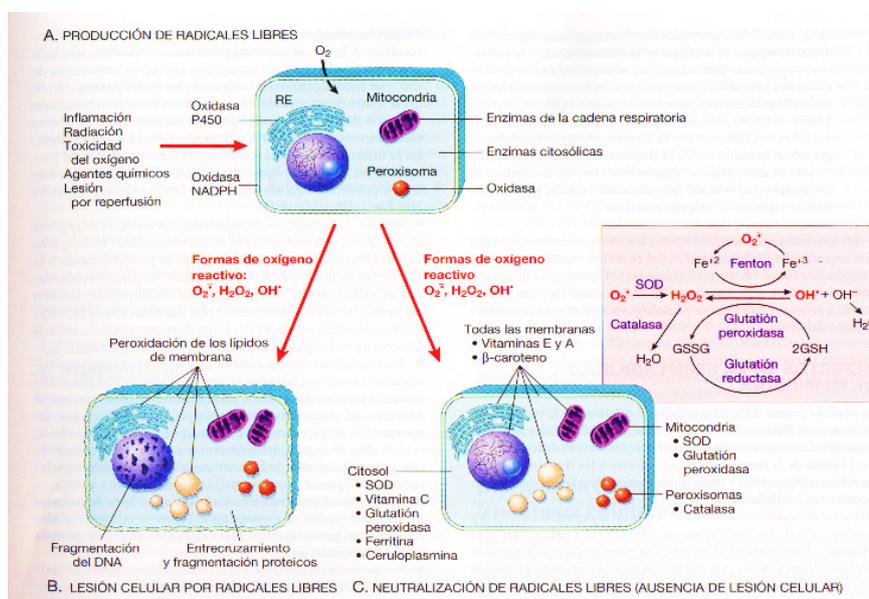
En varios artículos científicos, se ha observado un conjunto de afecciones donde se encuentran implicadas las especies reactivas de oxígeno, entre las que destacan: cardiopatías isquémicas (Hayashi *et al.*, 2008), infarto agudo de miocardio, angina inestable, insuficiencia cardíaca, arritmias por reperfusión, enfermedad cerebrovascular, neurodegeneración, síndrome de distrés respiratorio agudo, sepsis, enfermedades pulmonares (Park *et al.*, 2009), pancreatitis aguda, insuficiencia renal, hepatitis y cirrosis hepática (Gutiérrez *et al.*, 2010), diabetes *mellitus* descompensada (Díaz Arce, 2006), hipertensión arterial, obesidad (Vincent *et al.*, 2007) y cáncer (Monaghan *et al.*, 2009).

Los radicales libres son moléculas sumamente reactivas y capaces de reaccionar con otras, dañando las estructuras orgánicas y transformándolas en moléculas reactivas, generando una reacción en cadena que causa daño oxidativo a nivel celular llegando a la disfunción de algún órgano específico (Calderón *et al.*, 2020). El mismo organismo se protege de los radicales libres por medio de los sistemas antioxidantes endógenos (enzimáticos y no enzimáticos), estos neutralizan la reactividad de los radicales libres donándoles o atrapando un electrón para lograr la estabilidad química. Cuando existen demasiados radicales libres se presenta el estrés oxidativo, el cual se define como un desequilibrio entre los agentes antioxidantes y oxidantes donde las moléculas reactivas causan un daño oxidativo a las biomoléculas orgánicas (carbohidratos, lípidos, proteínas y ADN) dando como resultado un daño que puede conducir a muerte celular (Hidalgo *et al.*, 2018).

Los sistemas antioxidantes endógenos incluyen la superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), glutatión peroxidasa (GPx) y glutatión reductasa; y los sistemas antioxidantes no enzimáticos incluyen la vitamina C y E, carotenoides, ácido úrico, aminoácidos como glicina y taurina y el tripéptido glutatión (GSH). Los sistemas ayudan a disminuir los niveles de radicales libres que son producidos durante el metabolismo de alimentos, respiración y ejercicio (Abraham *et al.*, 2007).

En los organismos vivos se puede presentar estrés oxidativo, pero gracias a los sistemas antioxidantes antes mencionados, se puede controlar el daño. Cuando estos no lo logran, el número de radicales libres aumenta demasiado y se vuelve imposible contrarrestarlo, lo cual provoca una peroxidación lipídica (debido a mayor susceptibilidad de los lípidos al ataque oxidativo), donde el daño puede ser reversible o irreversible dependiendo del tiempo de exposición al estrés (Cabrera y Serrano, 2014).

Los radicales libres tienen una vida muy corta, pero en cada reacción de oxidación con otra molécula, pueden generar nuevas especies con un nivel de estabilidad y toxicidad variable. Dentro de estos radicales libres se encuentran el anión superóxido ( $O_2^-$ ), el radical hidroxilo ( $OH^\cdot$ ) y el peróxido ( $H_2O_2$ ) de hidrógeno; todos ellos capaces de producir lesión celular como se observa en la Figura 1 (Ahmed *et al.*, 2013).



**Figura 1.** Papel de los radicales libres en la lesión celular (Kumar *et al.*, 2009).

El ADN es muy sensible a la oxidación por los radicales libres y estos podrían jugar un papel importante en las mutaciones que preceden al desarrollo de un cáncer (Iwai, 2000). También se les ha implicado en la aterosclerosis, las enfermedades pulmonares, las lesiones renales, la diabetes *mellitus* y el envejecimiento (Elejalde, 2001). Por otra parte, algunos de los metabolitos resultantes de los radicales libres son muy reactivos y pueden reaccionar con proteínas, lípidos o ácidos nucleicos. Las primeras células en ser atacadas son precisamente aquellas donde tiene lugar la biotransformación, es decir, en los hepatocitos; estos se encuentran directamente expuestos a la potencial acción

tóxica tanto de las toxinas endógenas como de los xenobióticos, pudiendo producirse un mayor o menor grado de daño hepático derivado de la acción citotóxica, colestásica o cancerígena de estos metabolitos reactivos (Roskoski, 1997).

### ***Curcuma longa***

Es una planta originaria del sudeste asiático (Figura 2), cuyo principal componente es la curcumi-na, metabolito activo responsable de la mayoría de sus efectos biológicos (Meza *et al.*, 2000). Sus múltiples aplicaciones incluyen dar sabor a los alimentos, teñir telas de color amarillo-naranja y como terapia alternativa de la salud (Aggarwal *et al.*, 2005). Pertenece al filo *Magnoliophyta*, familia *Zingiberaceae*, Subreino *Tracheobionta*, Clase *Liliopsida*, Subclase *Zingiberidae*, Orden *Zingiberales*, Gene-ro *Curcuma* y Especie *Curcuma longa* (Saiz de Cos y Pérez, 2014).



**Figura 2.** *Curcuma longa*. Rizoma y planta.

Tomada de: <https://www.amazon.com/-/es/Gardens-Turmeric-Curcuma-Rizomes-plantar/dp/B07JDMNT1>

Es una planta herbácea perenne con raíces oblongas palmeadas (tubérculos más largos que anchos) que están arrugados en el exterior, son marrones por fuera y naranja profundo en el interior. Puede llegar a medir hasta 2 metros de alto, presenta hojas largas, lanceoladas y pecioladas de un color verde uniforme, para que pueda crecer adecuadamente necesita temperaturas entre 20 °C y 30 °C (Saiz de Cos y Pérez, 2014).

El rizoma de *Curcuma longa* se utiliza mucho en la cocina asiática ya que tiene un sabor picoso y amargo (Prasad *et al.*, 2014). También existen reportes de los efectos medicinales en enfermedades cardiovasculares, intestinales, metabólicas y neurodegenerativas. Se ha evaluado su efecto sobre la cardiotoxicidad, cicatrización, cáncer, alergia, bronquitis, artritis, asma, diabetes, esclerodermia, esclerosis múltiple, cataratas, isquemia renal, colitis, nefrotoxicidad, sida, cálculo biliar, fibrosis pulmonar, traumatismo cardioencefálico, epilepsia, entre otros (Sahebkar *et al.*, 2013).

Varios autores coinciden en que tiene buen efecto antioxidante evaluado por diferentes técnicas como pruebas de funcionamiento hepático (PFH) y lipoperoxidación, así como técnicas de extracción fenólica evaluada *in vitro* (Alvis *et al.*, 2012; Baxla *et al.*, 2013; Canelo *et al.*, 2017). Debido a que el estudio de las propiedades hepatoprotectoras que presentan estos extractos en diversas técnicas experimentales han mostrado resultados antioxidantes, se ha dado la pauta para seguir encaminados en investigar más a profundidad dichas acciones del extracto total, así como de sus principios activos.

Existen artículos donde se menciona que el componente de la *Curcuma longa* que se encuentra en mayor proporción es curcumina, a la cual se le atribuye un efecto preventivo contra el desarrollo del estrés oxidativo y sus consecuencias (Alvis *et al.*, 2012). Este principio activo evita el daño celular inducido por  $H_2O_2$  e inhibe la actividad de la xantina deshidrogenasa / xantina oxidasa (Mahakunakorn *et al.*, 2003), también elimina los radicales libres y neutraliza el oxígeno reactivo y nitrógeno inhibiendo la peroxidación lipídica (Panahi *et al.*, 2012) e inhibe la lipasa pancreática (Jamous *et al.*, 2018).

Se ha confirmado que previene el daño hepático inducido por distintos agentes como alcohol, hierro, toxinas (aflatoxinas) o tetracloruro de carbono (agudo o crónico), pudiendo incluso revertir el daño inducido por este último compuesto químico. Los mecanismos de acción propuestos hasta ahora están relacionados con las actividades que ejerce sobre factores de crecimiento y de transcripción, citocinas, enzimas y genes reguladores de la proliferación celular y de los procesos apoptóticos. Además, se confirma que el principio activo curcumina inhibe de forma potente factores de transcripción, por ejemplo, el factor NF- $\kappa$ B que regulan la expresión de genes implicados en la supervivencia y proliferación celular, inflamación, tumorigénesis y angiogénesis (Accame, 2011).

La búsqueda de extractos, sustancias o moléculas para proteger al hígado de los efectos nocivos de sustancias hepatotóxicas, contrarrestan las alteraciones en los mecanismos de defensa antirradicales libres. Los usos populares de productos naturales medicinales en la salud pueden proporcionar pistas para nuevas áreas de investigación, además de considerarlas como fuentes invaluables para productos farmacéuticos (Ji *et al.*, 2009). Los productos naturales son considerados fuentes únicas de fácil disponibilidad y accesible a toda la población para el tratamiento y prevención de diversas enfermedades (Cowan, 1999). La alta incidencia de las enfermedades hepáticas y la insuficiente oferta terapéutica hacen atractivo el uso de fármacos antioxidantes provenientes de productos naturales para los que se conocen evidencias de mejoría del daño hepático: los extractos de la *Curcuma longa*.

## Mecanismo de la peroxidación lipídica

La peroxidación lipídica o lipoperoxidación, hace referencia a la degradación oxidativa de los lípidos. Es el proceso a través del cual los radicales libres capturan electrones de los lípidos en las membranas celulares. Este proceso es iniciado por un mecanismo de reacción en cadena de un radical

libre y en la mayoría de los casos afecta los ácidos grasos poliinsaturados, debido a que contienen múltiples dobles enlaces entre los cuales se encuentran los grupos metileno (-CH<sub>2</sub>-) que poseen hidrógenos particularmente reactivos. Al igual que cualquier reacción con radicales, esta se modela en tres pasos fundamentales: iniciación, propagación y terminación.

La iniciación es el paso en donde el radical de ácido graso es producido. Los iniciadores en células vivas más notables son especies reactivas del oxígeno, tales como OH<sup>•</sup>, el cual combina con un hidrógeno para dar lugar a agua y a un ácido graso radical. En la propagación el ácido graso radical no es una molécula muy estable, de modo que reacciona rápidamente con oxígeno molecular, creando de este modo un ácido graso peroxil radical, el cual también es una especie muy inestable por lo cual reacciona con otro ácido graso dando lugar a un ácido graso radical diferente y a un peróxido lipídico o un peróxido cíclico si ha reaccionado consigo mismo; este ciclo continúa ya que el nuevo ácido graso radical se comporta de la misma manera. En la terminación, cuando un radical reacciona, siempre produce otro radical, es por ello que se trata de un mecanismo de reacción en cadena. La reacción radical se detendrá cuando dos radicales reaccionan y producen una especie no radical, lo cual ocurre solamente cuando la concentración de especies radicales es lo suficientemente alta como para que exista la probabilidad de que se encuentren dos radicales. Los organismos han evolucionado diferentes moléculas que aceleran el proceso de terminación atrapando radicales libres, protegiendo de esta manera la membrana celular. Además, los productos finales de la peroxidación lipídica pueden ser mutagénicos y carcinogénicos. Por ejemplo, el producto final malondialdehído reacciona con la deoxiadenosina y la deoxiguanosina del ADN, formando aductos de ADN, principalmente (Ostrear y Marnett, 2000).

Para lograr el objetivo se planteó la siguiente metodología: se tuvieron cuatro grupos experimentales con ratas macho de la cepa Wistar durante dos semanas (grupo control sano con solución salina al 0.9 %, grupo control daño con CCl<sub>4</sub>, grupo *Curcuma longa* 400 mg vía oral más CCl<sub>4</sub> y grupo *Curcuma longa ad libitum* vía oral más CCl<sub>4</sub>), con un peso aproximado a 250 g, mantenidas en el Bioterio del Área de Ciencias de la Salud, con ciclo de luz y oscuridad de 12 h por 12 h y a una temperatura ambiente de 22 °C, se utilizó la técnica de grado de lipoperoxidación descrita por Uchiyama y Mihara en 1978.

Se indujo daño hepático con tetracloruro de acuerdo a lo descrito por Ehrinpreis y Rojkind (1980) de la siguiente manera: intoxicación crónica con tetracloruro de carbono (CCl<sub>4</sub>), para inducir cirrosis hepática experimental en dosis acumulada semanalmente de 1.0 g/Kg de peso, disuelto en aceite mineral bajo el siguiente esquema: en la primera semana se administró CCl<sub>4</sub> diluido 1:7 con aceite mineral por tres días a la semana en forma alternada por vía intraperitoneal; a partir de la segunda semana se siguió el mismo esquema de intoxicación, pero cambió la dilución a 1:6; la tercera semana la dilución se hizo de 1:5 y posteriormente a partir de la cuarta semana la dilución fue de 1:4 hasta completar el tiempo de administración establecido para la inducción de cirrosis (Ehrinpreis y Rojkind, 1980). Las diluciones correspondientes se prepararon con la finalidad de ajustar la dosis con el incremento de peso correspondiente al crecimiento de los animales. Posteriormente a los protocolos utilizados en los grupos experimentales, se sacrificaron a los animales y se procedió a realizar la perfusión hepática.

## Resultados

Para confirmar el establecimiento de la cirrosis experimental, se administró el grupo de  $\text{CCl}_4$  con la administración ininterrumpida del tóxico, el incremento se mantuvo, indicando que este se perpetúa durante el tiempo en exposición.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1, donde se observan los promedios de las concentraciones en  $\mu\text{g}$  de malondialdehído (MDA) por gramo de hígado, obtenidos de los grupos en tratamiento. Grupo 1 control sano (datos no mostrados en la tabla); grupo 2 control con daño (administración de tetracloruro como agente oxidante en el modelo descrito); grupo 3, grupo con tetracloruro y tratado con *Curcuma longa ad libitum*; y grupo 4, grupo con tetracloruro y tratado con *Curcuma longa* a 400 mg/kg de peso.

**Tabla 1**  
Concentraciones en  $\mu\text{g}$  de MDA por gramo de hígado en grupos de tratamiento  
(Elaboración propia).

	Grupo de rata macho Wistar 5 $\pm$ 1 con tetracloruro intraperitoneal	Grupo de rata macho Wistar 5 $\pm$ 1 400 mg de <i>Curcuma longa</i> por dos semanas	Grupo de rata macho Wistar 5 $\pm$ 1 con <i>Curcuma longa ad libitum</i> por dos semanas
Grupo 1	3.2691		
Grupo 2		2.24991	
Grupo 3			1.96787

Las concentraciones obtenidas de MDA evidenciaron que en el grupo al que se le administró  $\text{CCl}_4$  sí presentó un daño considerable en comparación con los otros dos grupos, a pesar de que también esos dos grupos fueron administrados con  $\text{CCl}_4$ , pero la *Curcuma longa* logró reducir la concentración en un 31.48 % para el grupo al que se le administró el extracto en una concentración 400 mg vía oral y de 39.81 % al grupo administrado con *Curcuma longa ad libitum*, los dos grupos comparados con el tratado con  $\text{CCl}_4$ .

Como ya se comentó, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto antioxidante de *Curcuma longa* en modelo murino con daño hepático inducido con  $\text{CCl}_4$ . Los datos coincidieron con un grupo de investigadores que encontraron que esta tiene un buen efecto antioxidante evaluado por PFH y lipoperoxidación, administrando 500 mg /kg de peso de *Curcuma longa* (Baxla *et al.*, 2013); asimismo, otro grupo de investigadores compararon el efecto antioxidante con ácido ascórbico obteniendo mejor efecto antioxidante con cúrcuma (Canelo *et al.*, 2017). Por su parte, Alvis y colaboradores realizaron técnicas de extracción fenólica de componentes de cúrcuma que presentó

elevado contenido de compuestos fenólicos, compuesto antioxidante y poder secuestrante de radicales libres, por medio de la técnica de FISCHER ISO TEMP y FRAP (Ferric Reducing Activity Power) (Benzie y Strain, 1996).

## Conclusiones

De acuerdo al resultado obtenido para este trabajo, se encontró que con la técnica de lipoperoxidación en los dos grupos tratados con *Curcuma longa ad libitum* y con *Curcuma longa* a 400 mg/ kg, la concentración de MDA indica que efectivamente se presentó una mejoría en la degradación de lípidos de membrana en los grupos antes mencionados comparados con el grupo tratado solo con  $\text{CCl}_4$ .

## Bibliografía

- Abraham, N. G., Asija, A., Drummond, G., y Peterson, S. (2007). Heme oxygenase-1 gene therapy: recent advances and therapeutic applications. *Current gene therapy*, 7(2), 89-108.
- Accame, M. E. C. (2011). Plantas medicinales en el tratamiento de alteraciones hepato biliares (V): Cúrcumas. *Panorama actual del medicamento*, 35(349), 1144-1148.
- Aggarwal, B. B., Kumar, A., Aggarwal, M. S. y Shishodia, S. (2005). Curcumin derived from turmeric (*Curcuma longa*): a spice for all seasons. *Phytopharmaceuticals in cancer chemoprevention*, 23, 351-387.
- Ahmed, T., Uddin, M. N., Hossain, M. K., Hasan, N. y Rana, M. S. (2013). Evaluation of antioxidant and cytotoxic potential of *Artocarpus chama buch*. Seeds using in vitro models. *Int J. Pharm Pharm Sci*, 5(1), 283-289.
- Alvis, A., Arrazola, G. y Martinez, W. (2012). Evaluación de la Actividad y el Potencial Antioxidante de Extractos Hidro-Alcohólicos de Cúrcuma (*Curcuma longa*). *Información tecnológica*, 23(2), 11-18.
- Baxla, S. L., Gora, R. H., Kerketta, P., Kumar, N., Roy, B. K. y Patra, P. H. (2013). Hepatoprotective effect of *Curcuma longa* against lead induced toxicity in Wistar rats. *Vet World*, 6(9), 664-667.
- Cabrera, T. C. y Serrano, D. S. (2014). Algunos aspectos sobre el estrés oxidativo, el estado antioxidante y la terapia de suplementación. *Revista Cubana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular*, 14(1), 55-60.
- Calderón, A., Torres, P. y Pretel, O. (2020). Efecto del extracto hidroalcohólico de *Terminalia catappa* L. (Combretaceae) sobre radicales libres inducidos en cerebro de rata. *The Biologist*, 11(2), 267-275.
- Canelo-Saldaña, P., Mendoza-Gardini, Y., Vallejo, J. V., Aranda-Ventura, J. y González-Aspajo, G. (2017). Análisis fitoquímico, actividad antioxidante y hepatoprotectora del extracto acuoso liofilizado de *Curcuma longa* en lesiones hepáticas inducidas con tetraclorometano en ratas albinas. *Revista Peruana de Medicina Integrativa*, 2(3), 765-772.
- Corrales, L. C. y Ariza, M. M. (2012). Estrés oxidativo: origen, evolución y consecuencias de la toxicidad del oxígeno. *Nova*, 10(18), 213-225.

- Cortez-Pinto H, Alexandrino P y Camilo, M. E. (2002). Lack of effect of colchicine in alcoholic cirrhosis: final results of a double blind randomized trial. *Europ J Gastroenterol and Hepatol*, 14(4), 377-381.
- Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical microbiology reviews*, 12(4), 564-582.
- Díaz Arce, D. (2006). Hiperglicemia y estrés oxidativo en el paciente diabético. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 25(3), s.p.
- Ehrinpreis Murray, N. y Rojkind, M. A. (1980). Liver proline oxidase activity and collagen synthesis in rats with cirrhosis induced by carbon tetrachloride, *Biochimica et Biophysica Acta (BBA). General Subjects*, 626(1), 184-193.
- Elejalde Guerra, J. I. (2001). Revisión de conjunto. Estrés oxidativo, enfermedades y tratamientos antioxidantes. *An. Med. Interna*, 18(6), 50-59.
- Fernández, J. M., Da Silva-Grigoletto, M. E. y Túnez-Fiñana, I. (2009). Estrés oxidativo inducido por el ejercicio. *Revista andaluza de medicina del deporte*, 2(1), 19-34.
- González-Albadalejo, J., Sanz, D., Claramunt, R. M., Lavandera, J. L., Alkorta, I. y Elguero, J. (2015). Curcumin and curcuminoids: chemistry, structural studies and biological properties. *An Real Acad Farm*, 81(4), 278-310.
- Gutiérrez, R., Alvarado, J. L., Presno, M., Pérez-Veyna, O., Serrano, C. J. y Yahuaca, P. (2010). Oxidative stress modulation by Rosmarinus officinalis in CCl4-induced liver cirrhosis. *Phytotherapy Research*, 24(4), 595-601.
- Hayashi, T., Mori, T., Yamashita, C. y Miyamura, M. (2008). Regulation of oxidative stress and cardioprotection in diabetes mellitus. *Current cardiology reviews*, 4(4), 251-258.
- Hidalgo, M. Á., Rubio, M. O. y Cruz, M. G. (2018). Estrés oxidativo y antioxidantes. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 22(1), 47-63.
- Iwai, M., Harada, Y., Muramatsu, A. y Tanaka, S. (2000). Development of gap junctions channels and intercellular communication in rat liver during ontogenesis. *Journal of Hepatology*, 31(2), 18-25.
- Jamous, R. M., Abu-Zaitoun, S. Y., Akkawi, R. J. y Ali-Shtayeh, M. S. (2018). Antiobesity and Antioxidant Potentials of Selected Palestinian Medicinal Plants. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2018, s.p.
- Ji, H. F., Li, X. J. y Zhang, H. Y. (2009). Natural products and drug discovery: can thousands of years of ancient medical knowledge lead us to new and powerful drug combinations in the fight against cancer and dementia? *EMBO reports*, 10(3), 194-200.
- Kumar, V., Abbas, A. K. y Fasto, N. (2009). *Robbins y Cotran. Patología estructural y funcional*, Elsevier, Madrid.
- León Pérez, D. y Larrondo Muguercia, H. (2000). Medicina crítica y estrés oxidativo. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 19(3), 196-198.
- Mahakunakorn, P., Tohda, M., Murakami, Y., Matsumoto, K., Watanabe, H. y Vajaragupta, O. (2003). Cytoprotective and cytotoxic effects of curcumin: dual action on H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-induced oxidative cell damage in NG108-15 cells. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 26(5), 725-728.
- Mesa, M. D., Ramírez-Tortosa, M. C., Aguilera García, C., Ramírez-Boscá, A. y Gil Hernández, Á. (2000). Efectos farmacológicos y nutricionales de los extractos de *Curcuma longa L.* y de los cucuminoides. *Ars Pharmaceutica*, 41(3), 307-321.

- Monaghan, P., Metcalfe, N. B. y Torres, R. (2009). Oxidative stress as a mediator of life history trade-offs: mechanisms, measurements and interpretation. *Ecology letters*, 12(1), 75-92.
- Nakatani, N. (2000). Phenolic antioxidants from herbs and ápicos. *Biofactors*, 13(1-4), 141-146.
- Navarro, M. C., Montilla, M. P., Martín, A., Jiménez, J. y Utrilla, M. P. (1992). Free Radical Scavenger and hepatotoxic Activity of Rosmarinus tomentosus. *Planta Medica*, 59(4), 312-314.
- Ostrear, E. M. (2000). *Red Cell Membrane Lipid Peroxidation and Hemolysis Secondary to Phototherapy*, Departments of Pediatrics, Wayne State University School of Medicine and Hutzel Hospital, Detroit, Michigan, USA.
- Panahi, Y., Sahebkar, A., Amiri, M., Davoudi, S. M., Beiraghdar, F., Hoseininejad, S. L. y Kolivand, M. (2012). Mejora del prurito crónico inducido por la mostaza de azufre, la calidad de vida y el estado antioxidante de la curcumina: resultados de un ensayo aleatorizado, doble ciego, controlado con placebo. *British Journal of Nutrition*, 108(7), 1272-1279.
- Parés, A., Planas, R., Torres, M., Caballería, J., Viver, J. M., Acero, D., Panés, J., Rigua, J. y Santos, J. (1998). Effects of silymarin in alcoholic patients with cirrhosis of the liver: results of a controlled, double-blind, randomized and multicenter trial. *Journal of hepatology*, 28(4), 615-621.
- Park, H. S., Kim, S. R. y Lee, Y. C. (2009). Impact of oxidative stress on lung diseases. *Respirology*, 14(1), 27-38.
- Prasad, S., Tyagi, A. K. y Aggarwal, B. B. (2014). Recent developments in delivery, bioavailability, absorption and metabolism of curcumin: the golden pigment from golden spice. *Cancer research and treatment: official journal of Korean Cancer Association*, 46(1), 2-18.
- Ravindran, P. N., Babu, K. N. y Sivaraman, K. (Eds.). (2007). *Turmeric: the genus Curcuma*, CRC press.
- Rodríguez-Perón, J. M., Menéndez-López, J. R. y Trujillo-López, Y. (2001). Radicales libres en la biomedicina y estrés oxidativo. *Rev. Cubana. Med. Milit*, 30(1), 15-20.
- Roskoski, R. J. (1997). *Bioquímica*, Editorial Mc. Graw-Hill Interamericana, México.
- Sahebkar, A. (2013). Why it is necessary to translate curcumin into clinical practice for the prevention and treatment of metabolic syndrome? *Biofactors*, 39(2), 197-208.
- Saiz de Cos, P. y Pérez-Urria Carril, E. (2014). Cúrcuma I (*Curcuma longa l.*). *REDUCA Biología*, 7(2), 84-99.
- Tognetti, V. B., Mühlenbock, P. y Van Breusegem, F. (2012). Stress homeostasis-the redox and auxin perspective. *Plant, cell & environment*, 35(2), 321-333.
- Tovar, V., Villanueva, A. y Llovet, J. M. (2007). Biología celular y genética en el cáncer de hígado. *Gastroenterología y hepatología*, 30(6), 360-369.
- Uchiyama, M. y Mihara, M. (1978) Determinación del precursor de malonaldehído en tejidos por prueba de ácido tiobarbitúrico. *Bioquímica Analítica*, 86(1), 271-278.
- Vincent, H. K., Innes, K. E. y Vincent, K. R. (2007). Oxidative stress and potential interventions to reduce oxidative stress in overweight and obesity. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 9(6), 813-839.
- Zamora, J. D. (2007). Antioxidantes: micronutrientes en lucha por la salud. *Revista chilena de Nutrición*, 34(1), 17-26.

## **IV. Biotecnología**

## **Bioplástico por biodesarrollo micelial en residuos lignocelulósicos**

Diana Stephanie Ocegueda Vega  
Nelly Flores Ramírez  
Salomón Ramiro Vásquez García  
Lada Domratcheva Lvova

### **Introducción**

El reino fungi consta de una extensa gama de especies con morfologías y propiedades muy variables entre los que se encuentran los hongos, que son organismos biológicos conformados por micelio siendo su parte vegetativa la más importante y que a su vez está constituido por hifas (Jones *et al.*, 2017). El micelio es el responsable de degradar materia orgánica, utilizándola como fuente de nutrientes para su desarrollo mientras va extendiendo su red de hifas (Huynh *et al.*, 2017). Se han utilizados materiales sólidos como sustratos o soportes inertes para el crecimiento del hongo, lo cual es denominado fermentación en estado sólido. Estos sistemas ofrecen ventajas que han sido de interés para el desarrollo científico ya que son económicos, brindan altos rendimientos de producto, seguridad, es un proceso simple, entre otras ventajas (Ranjbar y Olfati, 2017).

El desarrollo en sustratos orgánicos del micelio de los hongos conforman un material compuesto entre micelio-materia orgánica, esta característica es bastante atractiva ya que a partir de ello se pueden generar materiales con diversas aplicaciones, desde embalaje, decoración, construcción y fabricación de muebles de forma natural y ambientalmente viable, ya que son 100 % compostables y se degradan de forma natural en la intemperie, dejando los nutrientes absorbidos para el desarrollo de una nueva vida, son sostenibles ya que se desarrollan a partir de fuentes de desecho creciendo rápidamente sin altos consumos de energía, dependiendo de la especie de hongo, sustratos y parámetros de crecimiento, el producto final puede moldearse a cualquier forma requerida con propiedades peculiares, las cuales están relacionadas con la composición de la pared celular de los hongos, siendo su componente principal la quitina, cuya cantidad en la pared celular depende de los sustratos y parámetros de crecimiento del hongo como el O<sub>2</sub>, contenido de humedad, temperatura y pH (Reyes, 2017).

El término quitina deriva de la palabra griega «túnica», haciendo referencia a su dureza, tiene una apariencia blanca, dura e inflexible y destaca su composición química compuesto de N-acetil glucosamina unidas entre sí por enlaces β-1,4, es un polisacárido nitrogenado insoluble en agua y comúnmente en solventes orgánicos (Byung-Keun *et al.*, 2007), la quitina es de naturaleza polimérica, presenta una elevada masa y tiene estructura porosa, característica que permite absorber agua (Khalaf, 2004).

Por otra parte, en el reino fungi el género *Pleurotus* tiene una gran versatilidad ya que soporta grandes variaciones de temperatura y pueden ser cultivados prácticamente sobre cualquier sustrato lignocelulósico, si el sustrato es favorable y rico en estos compuestos, crece rápidamente con un exce-

lente nivel de producción (Ha-Thi *et al.*, 2015). El desarrollo de hongos como *P. ostreatus* a partir de residuos lignocelulósicos, como pajas, cascarilla de cereales, bagazos, tusas, pastos, cáscaras, entre otros, es una buena alternativa para la producción de bioplásticos, adicionalmente es un hongo comestible con un alto valor nutricional, contiene carbohidratos, proteínas, fibra, vitaminas como niacina, tiamina, ácido ascórbico, vitamina C y minerales. Es una especie que se desarrolla saprofiticamente en ambientes naturales sobre troncos de árboles caídos y otras plantas leñosas (Díaz *et al.*, 2015; García *et al.*, 2017).



**Figura 1.** *Pleurotus ostreatus*. Fred Stevens. [www.mykoweb.com](http://www.mykoweb.com)

En el sector agroforestal se generan grandes cantidades de residuos diarios formados principalmente por compuestos lignocelulósicos como astilla, aserrín, polvo, virutas, hojas, corteza, provenientes de aserraderos, plantas de transformación física de la madera, talleres y de plantas de celulosa y, generalmente, se opta por quemar los residuos, arrojarlos a los basureros, quebradas y ríos, sin tener en cuenta la lenta degradación de estos materiales, lo que contribuye a la contaminación del entorno y producción de emisión de gases de efecto invernadero ( $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ ). La búsqueda de formas sostenibles y amigables con el medio ambiente para la eliminación de los desechos agroforestales ha desencadenado nuestro interés, centrado en su potencial como materia prima promoviendo el uso innovador de estos desechos en el desarrollo de *P. ostreatus* para la producción de bioplásticos utilizando una técnica de producción de bajo costo.

Los bioplásticos son materiales biodegradables que provienen de recursos naturales y pueden presentar propiedades similares a los obtenidos como derivados del petróleo. A partir de los polímeros naturales se derivan los biopolímeros, y dentro de estos se tiene a la celulosa, almidón, quitina entre otros; pueden ser biodegradables, no tóxicos y sustentables (Sprajcar *et al.*, 2012). Los bioplásticos se obtienen de los polímeros naturales como materia prima o de derivados o modificaciones y ofrecen importantes ventajas económicas y ambientales ya que su obtención implica un consumo de menos energía y menor emisión de gases tipo invernadero al ambiente (Fernández, 2016; Meza, 2016; Wagner, 2014).

Por lo anterior, en esta investigación se presenta el desarrollo y morfología de micelio del hongo *P. ostreatus* crecidos en residuos lignocelulósicos como el aserrín y la astilla de encino enriquecidos con olotes de maíz, lo anterior, con la finalidad de obtener un bioplástico.

Dada la temática que se aborda, a continuación se presenta una revisión de temas específicos y algunos antecedentes que fueron considerados para el desarrollo de este trabajo de investigación.

### ***Los bioplásticos y su clasificación***

Los bioplásticos son definidos como polímeros provenientes de fuentes naturales y polímeros sintéticos que cumplen con las normas internacionales de biodegradabilidad. Son materiales que tienen distintas propiedades y aplicaciones, y se clasifican en dos categorías: a) Los plásticos provenientes de recursos renovables y b) Los polímeros biodegradables que cumplen con los criterios científicos recogidos en las normas de biodegradabilidad y compostabilidad que a nivel internacional son ISO 17088 y ASTM D-6400 (Meza, 2016).

Los bioplásticos se utilizan como alternativa a los plásticos convencionales derivados de combustibles fósiles. La biodegradabilidad está unida a la estructura de la cadena del polímero y no depende del origen de las materias primas, por lo tanto, en el mercado hay materiales provenientes de recursos fósiles que son biodegradables según las normas y polímeros compuestos de biomasa resistentes a la biodegradación (Zapata *et al.*, 2012). El prefijo «bio» en «biopolímeros» se utiliza como abreviatura de «derivado de biomasa» u «obtenido a partir de materias primas renovables», por lo que el término biopolímero identifica polímeros que proceden de la materia orgánica derivada de los que están constituidos de organismos vivos y sus residuos (Fernández, 2016).



**Fig. 2.** Unicel biodegradable a partir de micelio y residuos agroindustriales.  
Ecovative Design (Green Island, NY, USA)

### ***Propiedades físicas y mecánicas de los bioplásticos***

Los bioplásticos presentan propiedades físicas que les aportan características idóneas para diversos usos, presentan baja densidad porque sus cadenas están en desorden lo cual está relacionado con la absorción de humedad y a su vez con la polaridad de los bioplásticos. Con respecto a las propiedades mecánicas, cuando es aplicada una carga a los termoplásticos estos sufren un proceso de deformación que puede ser plástica y elástica. La deformación elástica en los polímeros termoplásticos se define como el alargamiento de las cadenas, lo cual distorsiona los enlaces provocado por una fuerza externa que permite que dichas cadenas se alarguen elásticamente; los segmentos de las cadenas poliméricas vuelven a su posición original cuando el esfuerzo deja de aplicarse, esto se conoce como viscoelástico. El comportamiento plástico en biopolímeros termoplásticos amorfos se da cuando se sobrepasa el esfuerzo de cedencia y, una vez que ocurre la deformación plástica, el biopolímero no es capaz de recuperar su forma original (Gonzales *et al.*, 2011).

### **Metodología**

La materia prima utilizada para la obtención de los bioplásticos fueron residuos lignocelulósicos naturales como aserrín, astilla de encino (*Cuercus castanea*) y olotes de maíz (*Zea maíz*) en diferentes relaciones porcentuales en peso (Tabla 1), el tipo de hongo seleccionado fue el *P. ostreatus* de la división basidiomicetos, el cual es de rápido crecimiento en una amplia variación de sustratos de carácter lignocelulósico. La obtención del biomaterial se llevó a cabo bajo la siguiente metodología:

#### ***a) Determinación de la composición química de los sustratos.***

La composición química de los sustratos se determinó por medio de análisis elemental con la finalidad de evaluar su aporte al desarrollo del micelio. La composición química se determinó bajo la siguiente secuencia: los sustratos se molieron con ayuda de un molino eléctrico para reducir el tamaño de la partícula y generar una mayor área de contacto entre el sustrato y los solventes, después fueron tamizados con una malla núm. 40, la determinación de los componentes se realizaron bajo la norma T 211 om-93 para cenizas o sustancias inorgánicas, Astm D-1106-56 para la de lignina por el método de Klason, T 207 cm para los extraíbles y para la obtención de holocelulosa, el método de Wise y colaboradores (1946).

#### ***b) Elaboración del bioplástico***

- *Preparación de sustratos*

Los sustratos se prepararon a un pH de 6.5, los cuales se sumergieron en una solución de hidróxido de calcio para su hidratación, una vez concluido el proceso, se realizó la pasteurización

durante 1 h para eliminar cualquier otro microorganismo que pudiera inhibir el desarrollo de los hongos.

**Tabla 1**  
Proporción de sustratos utilizados para el crecimiento de la biomasa micelial.

Tratamientos	Sustrato	Porcentaje en peso (%)
<b>T1</b>	Aserrín	100
<b>T2</b>	Aserrín + Olote	50 + 50
<b>T3</b>	Astillas	100
<b>T4</b>	Astillas + Olote	50 + 50

- *Desarrollo y obtención de bioplásticos.*

Los bioplásticos fueron obtenidos a través de la siembra del hongo, proceso que se realizó en recipientes transparentes intercalando capas alternas de sustrato e inóculo evitando dejar áreas sin cubrir de semilla, se requirieron aproximadamente de 40-50 g de inóculo en 300 g de sustratos (peso húmedo), la incubación se realizó a 16-25 °C con una humedad relativa promedio de 63 % y un tiempo de incubación de 10 días en oscuridad. Transcurrido este tiempo se removió el micelio de los frascos y se vertieron en moldes de plástico de superficie lisa y transparente, se revolvieron y sellaron con plástico envolvente con perforaciones para favorecer la oxigenación del hongo, la incubación continuó por 20 días más, pasado ese tiempo, el micelio fue desarrollado por completo. Para la obtención de los biomateriales, los tratamientos se llevaron a estufa de secado a 70 °C hasta peso constante para inhibir el desarrollo del hongo para posteriormente desmoldarlos.

### ***c) Caracterización de la biomasa***

Se realizó el análisis morfológico de biomasa en un microscopio electrónico de barrido (MEB) a los 15 días de incubación, y por microscopía óptica (MO) a los 15 y 30 días de incubación por medio de extracción másica de la parte intermedia de cada uno de los tratamientos.

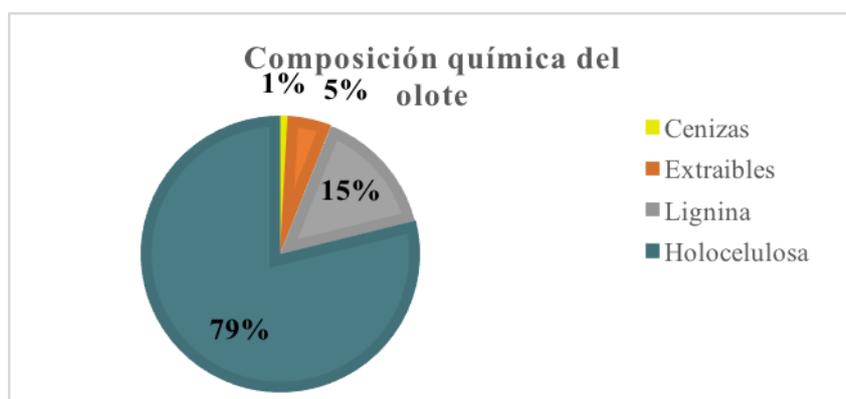
### ***d) Eficiencia Biológica (EB)***

Una vez obtenidos los biomateriales, el tratamiento óptimo para el desarrollo del micelio se evaluó con base en su EB utilizando la fórmula presentada por Tamayo (2018) mediante el tratamiento de biomasa por diferencia de pesos  $EB = (\text{Peso de micelio obtenido} / \text{Peso de sustrato utilizado}) * 100$ .

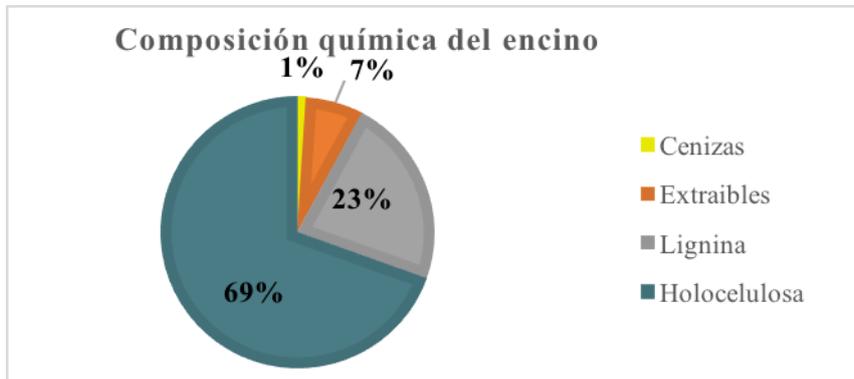
## Resultados y discusión

### *Composición química de los sustratos*

Los resultados obtenidos para la composición química de los sustratos fueron para el olote (Figura 1), contenido de cenizas 1 %, las sustancias extraíbles se encontraron en un 5 %, para la holocelulosa (celulosa + hemicelulosa) se obtuvo 79 %. Los datos obtenidos tienen similitud a los que reportan Córdoba y sus colegas (2013), y se observa que la holocelulosa se encuentra en mayores concentraciones, la cual es una fuente de carbohidratos para el desarrollo de las micelas. En la Figura 2, se muestran los resultados con respecto a los sustratos de encino, en donde se obtuvieron altos porcentajes de lignina (23 %) y de holocelulosa (69 %), en una comparación con la bibliografía, los resultados están acorde a lo reportado por Rutiaga y sus colegas (2000), quienes reportan 4 % y 10 % para extraíbles, 2 % y 1 % para cenizas, 15 % y 21 % para lignina y para holocelulosa 79 % y 67 %. La concentración de holocelulosa también es mayor con la adicional presencia de lignina. Las variaciones observadas en el porcentaje de colonización de cada una de las cepas estarían en relación a la composición química y tasa C/N de los residuos agroindustriales utilizados. Yang y colaboradores (2013) sugirieron que la proporción C/N de 22-30, 1, favorece la proporción de primordios, así como una alta proporción C/N favorece el crecimiento micelial y, por el contrario, una baja proporción C/N favorece el crecimiento del cuerpo fructífero.



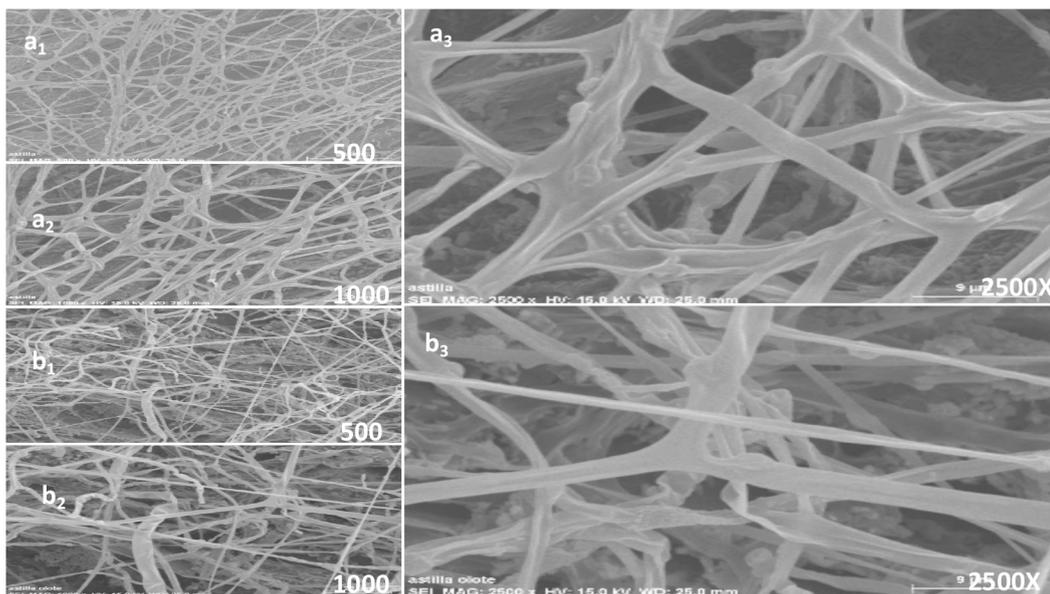
**Figura 1.** Composición química del olote.



**Figura 2.** Composición química del encino.

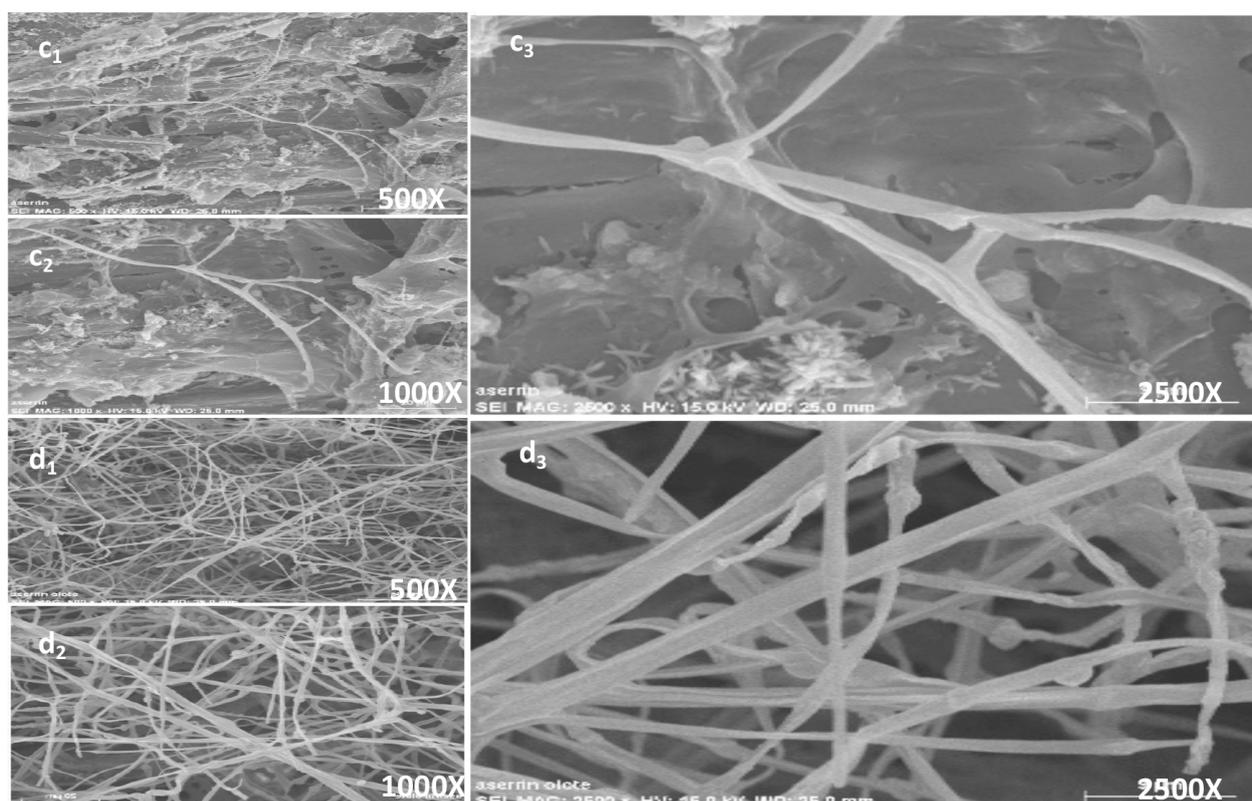
- Caracterización de biomasa por MEB Y MO.
- Morfología del bioplástico por MEB.

La Figura 3 de la muestra de biomasa de astilla (T3 y T4), ilustra la morfología del micelio a los 15 días de incubación observadas en MEB. El material exhibe una microestructura con filamentos entrelazados y orientados al azar (hifas). En la Figura 3 (b1, b2, b3) se observa mayor desarrollo de hifas entrelazadas que en la figura a, lo que se atribuye a la incorporación de olotes de maíz.



**Figura 3.** Micrografías MEB de hifas de *P. ostreatus* observadas a diferentes aumentos inoculadas en los sustratos: a) astilla y b) astilla-olote.

En la Figura 4 (4c y 4d) se muestra el desarrollo de hifas para los sustratos de aserrín sin alote de maíz y con alote respectivamente (T1 y T2). Se observa un menor desarrollo de hifas comparado con los sustratos de astilla, a su vez, es notorio el aumento del desarrollo cuando se ha incorporado olote a las muestras. En general, se observó que los sustratos de mayor colonización del hongo son aquellos que tienen mayor contenido de carbohidratos estructurales. Debido a que el olote es un material que tiene un alto contenido de carbono, fuente principal de las moléculas estructurales, adicionalmente el sustrato de fuente maderera contribuye con la lignina. Es importante el tamaño de la partícula y los espacios generados en los sustratos que permiten un intercambio de oxígeno para el desarrollo de los hongos, ya que para el sustrato a base de aserrín, este fenómeno se ve limitado por la compactación.

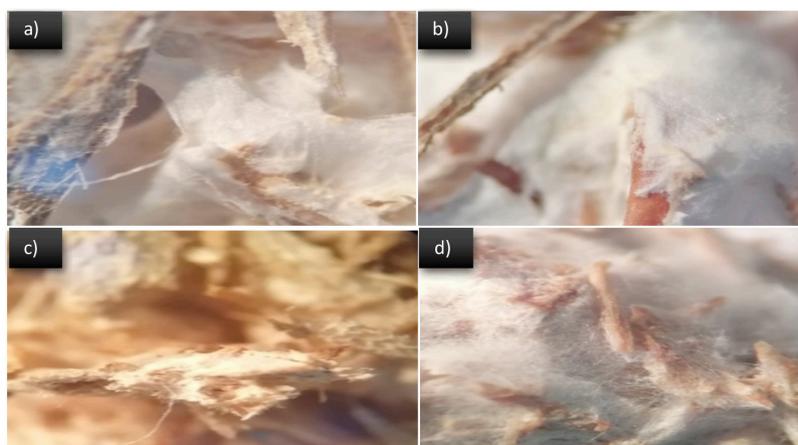


**Figura 4.** Micrográficas SEM de hifas de *P. ostreatus* observadas a diferentes aumentos inoculadas en los sustratos c) aserrín y d) aserrín/olote.

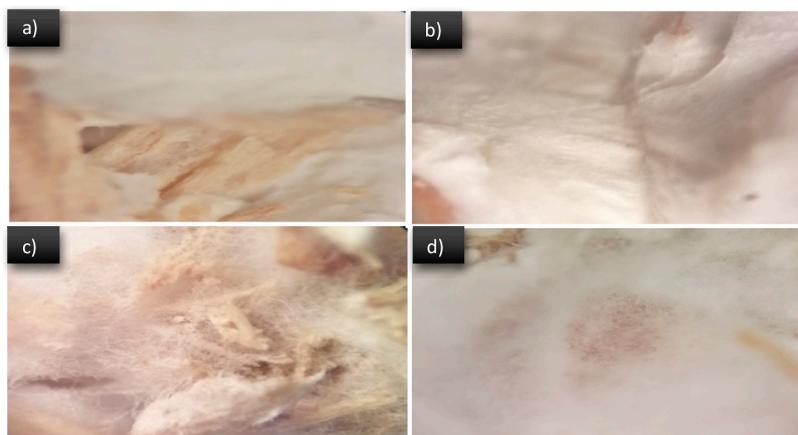
- ***Morfología de biomasa por Microscopía Óptica (MO).***

Para todos los tratamientos se realizó una observación en el MO a 40x a los 15 y 30 días de incubación, a fin de tener indicios de las estructuras de los micelios de hongos filamentosos. Las cepas de hongos presentaron crecimiento en en la mayoría de los sustratos evaluados.

Se observa la variedad morfológica de las biomasas, en donde el desarrollo del micelio fue mayor en donde se incorporó olores de maíz (T2 y T4) y un menor desarrollo de micelio en la muestra de aserrín (T1). Mostrando también un mayor desarrollo de micelio evidente para todos los tratamientos a los 30 días de incubación (Figura 6) mostrando cómo el micelio se desarrolló completamente aglomerando a los sustratos. Las condiciones de crecimiento, temperatura, contenido de humedad, ph y tiempo de incubación fueron adecuadas para el crecimiento del micelio.



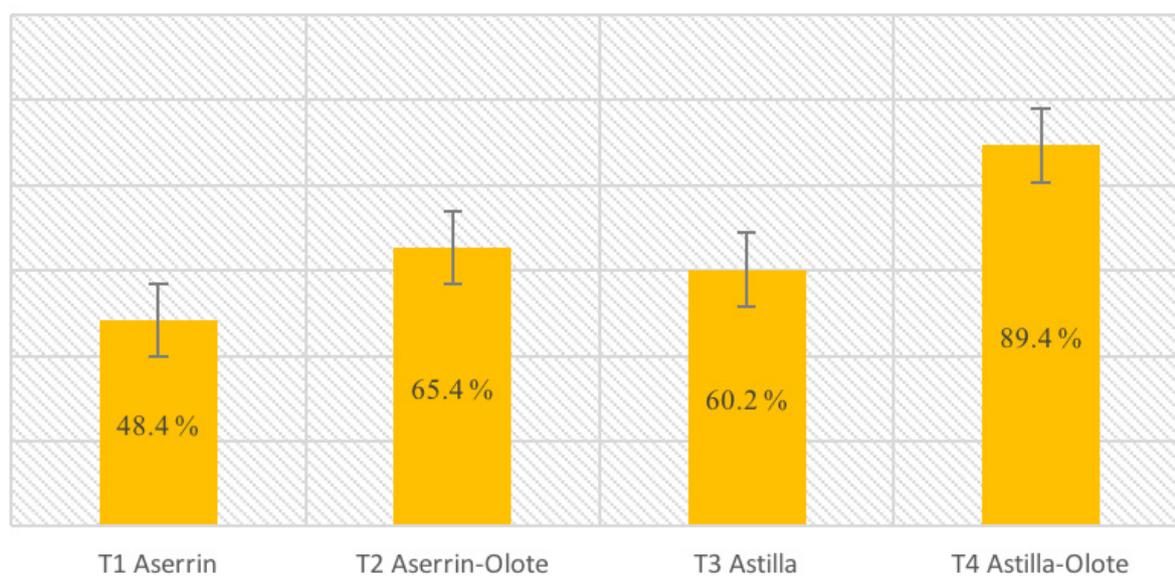
**Figura 5.** Microscopía óptica de biomasa de micelio desarrollado a 15 días de incubación en sustratos de a) astilla-micelio, b) astilla-olote-micelio, c) aserrín-micelio, d) aserrín-olote-micelio.



**Figura 6.** Microscopía óptica de biomasa de micelio desarrollado a 30 días de incubación en sustratos de a) astilla-micelio, b) astilla-olote-micelio, c) aserrín-micelio, d) aserrín-olote-micelio.

### ***Evaluación de eficiencia Biológica (EB)***

Como resultado de la fase de experimentación del desarrollo de los bioplásticos, se determinó el sustrato óptimo para el crecimiento del hongo *P. ostreatus* mediante la EB de crecimiento del micelio del hongo en diferentes sustratos. La Figura 5 muestra que el *P. ostreatus* tuvo un mayor desarrollo de micelio en los T2 y T4, alcanzando una EB de 65.4 % y 89.4 % y un menor desarrollo en T1 y T3 obteniendo una EB de 48.4 % y 60.2 %, mostrando que la incorporación de olotes de maíz contribuye satisfactoriamente en el desarrollo del micelio. Los resultados reportados en este estudio son superiores a la EB reportada por Gaitán-Hernández y colaboradores (2009), quienes obtuvieron una EB de 64.3 %, lograda con una cepa de *P. pulmonarius* cultivada en un pasto (*Digitaria decumbens*) y por lo reportado por Vogel y Salmones (2000), quienes evaluaron dos cepas de *P. pulmonarius* en paja de trigo fermentada.



**Figura 7.** Evaluación de la eficiencia biológica del hongo en los diferentes tratamientos.

### **Conclusiones**

Es posible obtener bioplásticos a base de micelio de *P. ostreatus* utilizando residuos lignocelulósicos como materia prima. El tipo de sustrato utilizado para el desarrollo de biomateriales biológicos mostró diferencias en la eficiencia biológica y en la morfología del micelio del hongo, y la incorporación de olotes de maíz mejora satisfactoriamente su desarrollo debido a su composición química.

La quitina es considerada un bioplástico y se encuentra de manera abundante en el micelio del hongo; al propiciar rigidez, un desarrollo rápido y natural del hongo en desechos orgánicos de bajo costo, presenta una alternativa económica y ambientalmente viable. La investigación básica y aplicada para el desarrollo y mejoramiento de los biomateriales propuestos, en colaboración a un trabajo legislativo agudo, permitirá el desarrollo de tecnologías para la producción de bioplásticos a un costo menor y con ello motivar su uso dentro de las diferentes industrias.

## Bibliografía

Astm d1106: 1996(E). Standard text method for acid insoluble ligning in Wood.

Byung-Keun, Y., Young-Ah, G., Yong-Tae, J. y Chi-Hyun, S. (2007). Anti-complementary Activities of Exo- and Endo-biopolymer Produced by Submerged Mycelial Culture of Eight Different Mushrooms. *Mycobiology*, 35(3), 145-149.

Barros, I., Guzmán, L. y Taron, A. (2015). Extration and quantitative comparison of chitin obtained from the shellof *Callinectes sapidus* and *Penaeus vannamei*. *Rev. U.D.C.A*, 18(2), 227-234.

Córdoba, J., Salcedo, E., Rodríguez, R., Zamora, J., Manríquez, R., Contreras, R. y Robledo, J. (2013). Caracterización y valoración química del olote: degradación hidrotérmica bajo condiciones subcríticas. *Revista Latinoamericana de Química*, 41(3), 171-184.

Fernández, L. (2016). *Desarrollo de materiales bioplásticos proteicos con elevada capacidad de absorción de agua* [Tesis de Doctorado], Universidad de Sevilla.

García, V. y Benítez, G. (2017). Wood preservatives and microbial exudates with antagonistic activity against biological agent. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 36(1), 56-78.

González, J., Partal, P., García, M. y Gallegos, C. (2011). Effect of processing on the viscoelastic, tensile and optical properties of albumen/starch-based bioplastic. *Carbon Polymers*, 84, 308-315.

Ha-Thi, H., Chun-Li, W. y Chong-H, W. (2015). The Effects of Different Substrates on the Growth, Yield, and Nutritional Composition of Two Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus cystidiosus*). *Mycobiology*, 43(4), 423-434.

Huynh, T., Jones, M. y Dekiwadia, C. (2017). Mycelium Composites: A Review of Engineering. *Journal of Bionanoscience*, 11(4), 241-257.

Khalaf, A. (2004). Production and Characterization of fungal Chitosan Under Solid-State Fermentation Conditions. *International Journal of Agriculture and Biology*, 6(6), 1033-1036.

Meza, P. (2016). *Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel laboratorio* [Tesis de Licenciatura]. Universidad Agraria la Molina, Perú.

Nieto, C. y Orellana, V. (2011). *Aplicación del quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante* [Tesis de Licenciatura]. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

- Ranjbar, M. y Olfati, J. (2017). Evaluation of Substrate Components on Shiitake Mushroom Properties. *International Journal of Vegetable Science*, 23(2), 145-150.
- Reyes, D. (2017). *Generación de un biomaterial compuesto por fibra vegetal y micelio de hongo y su aplicabilidad* [Tesis de Licenciatura], Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Reza, M. y Fath, M. (2018). Production and characterization of chitin nanocrystals from prawn. *Food Hydrocolloids*, 82, 338-345.
- Rutiaga, J. G., Windeisen, E. y Strovel, C. (2000). Composición química del duramen de la madera de *Quercus candicans* Neé. *Madera y Bosques*, 6(2), 73-80.
- Sprajcar, M., Horvat, P. y Krzan, A. (2012). *Biopolymers and bioplastics: plastics aligned with nature, plastic project. Innovative value chain for develop for sustainable plastics in Central Europe*. Europe Union.
- Tamayo, E. (2018). *Aplicación de materiales amigables con el medio ambiente, sustitutos al poliestireno expandido para uso en hidroponía* [Tesis de Doctorado]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.
- Tamura, H., Nagahama, H. y Tokura, S. (2006). Preparation of chitin hydrogel under mild conditions. *Cellulose*, 13(4), 357-64.
- Tappi: 211om: 1993(E). Ash in Wood and Pulp.
- Tappi: 2007cm: 1999(E). Water solubility of wood and pulp.
- Wagner, C. (2014). Autoedición: Food packaging forum. Publish, 2014.
- Wise, L., Murphy, M. y Daddieco, A. (1946). Chlorite holocellulose, its fractionation and bearing on summative Wood analysis and on studies on the hemicellulose. *Paper Trade Journal*, 122(2), 35-43.
- Yang, W., Guo, F. y Wan, Z. (2013). Yield and size of oyster mushroom grown on rice/wheat straw basal substrate supplemented with cotton seed hull. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20(4), 333-338.
- Zapata, D., Pujon, R. y Coda, F. (2012). Biodegradable polymers: an alternative of future to the sustainability of the environment. *Técnica Industrial*, 297(1), 76-80.

## Material compuesto a base de biosílice de cáscara de arroz/colofonia

Erica Arreola García  
Salomón Ramiro Vásquez García  
Nelly Flores Ramírez

### Introducción

La colofonia también nombrada como resina de pino, rosin (*gum rosin*, en inglés) o brea griega (Figura 1), es una resina de origen vegetal de color ámbar que fluyen espontáneamente por las incisiones hechas para tal propósito en los troncos de los árboles de coníferas del género *Pinus* (Roy *et al.*, 1990).

La más alta producción a nivel mundial se concentra básicamente en China, Brasil e Indonesia, que producen más del 90 % del total. Por su parte, México aporta una producción mundial próxima al 2 %, siendo el estado de Michoacán el que genera más del 90 % de la producción total nacional, la cual se obtiene en dos temporadas durante el año (de marzo a junio y la baja de julio a febrero). Esto posibilita que la colofonia sea uno de los polímeros de base biológica más baratos y abundantes, siendo una alternativa al combustible fósil al reducir los problemas ambientales (CONAFOR, 2012).



**Figura 1.** Colofonia empleada en este trabajo.

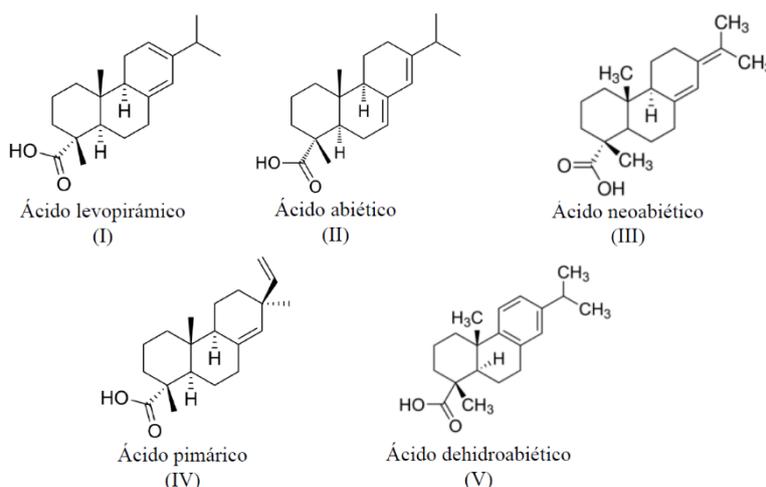
La colofonia ha sido empleada principalmente en la industria químico-farmacéutica, cosmética, textil, de limpieza, base de pinturas, espesantes, materiales de aislamiento electrónico (Do *et al.*, 2008), materiales emulsionados (Kim *et al.*, 2015) y materiales adhesivos debido a su resistencia mecánica, así como a su excelente adhesión (Gaillard *et al.*, 2011).

La colofonia contiene compuestos no volátiles (Figura 2), siendo el más abundante el ácido levopirámico (I) (es el menos estable) que se isomeriza rápidamente por el calor a ácido abiético (II), el cual cuando es calentado se isomeriza a ácido neoabiético (III). Otros ácidos que contiene la colofonia es el ácido pimárico (IV) y ácido dehidroabiético (V). Aunque la proporción de estos cinco isómeros en la colofonia es variable y depende de la zona geográfica, del método de recolección y especie de pino, los ácidos de tipo abiético (II) o resínicos, son obtenidos en un 45 % a partir de la colofonia por tratamientos con ácidos (Zachary *et al.*, 1965; Zinkel, 1989; Maiti *et al.*, 1989).

En la Figura 2 se observan que las estructuras que presenta la colofonia tienen una fórmula molecular común de  $C_{19}H_{29}COOH$  o  $C_{20}H_{30}O_2$  con base en un núcleo fenantrénico (tres anillos de seis átomos de carbono fusionados) y un ácido carboxílico; asimismo, con excepción del ácido pimárico (IV) y del ácido dehidroabiético (V), las estructuras tienen un par de dobles enlaces conjugados que afectan su reactividad.

La fracción formada por los hidrocarburos terpénicos constituye la esencia de la trementina o aguarrás que se separa de la fracción ácida mediante destilación fraccionada por arrastre con vapor de agua. La fracción ácida resultante constituye la colofonia, siendo un sólido amarillento quebradizo que es soluble en ésteres, éteres e hidrocarburos aromáticos, alifáticos y clorados. Tiene un peso molecular promedio de 300 g/mol, una temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) de 30 °C, un punto de reblandecimiento entre 70 y 80 °C y un punto de fusión entre 71 y 95 °C (Gracia, 2010).

En los últimos años, basados en la colofonia se han desarrollado como biomateriales de alto desempeño (Chen *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2013; Ganewatta *et al.*, 2014; Ganewatta *et al.*, 2015). Al integrar fibras naturales como materiales de refuerzo, es posible obtener materiales eco-amigables de alta disponibilidad y bajo costo (Schmidt e Ilie, 2012; Shi *et al.*, 2012).



**Figura 2.** Estructura de los ácidos de colofonia.

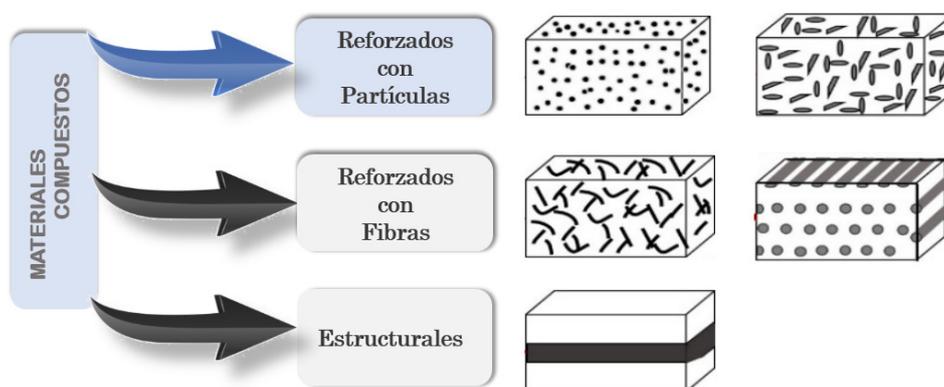
Una fuente para obtener partículas de refuerzo para la colofonia son las fibras naturales vegetales por su amplia disponibilidad y origen renovable. Respecto a la cáscara o cascarilla de arroz (rica en fibra), aunque es uno de los varios desechos agrícolas, contiene hasta un 20 % de peso en sílice respecto al grano y cáscara en su conjunto, por lo que es una nueva fuente renovable y potencial de material de refuerzo en compuestos de polímeros. En la Figura 3, se observa la cascarilla de arroz que cubre al grano de arroz. En 2018 se representó una cantidad de este subproducto de entre 148 y 185 millones de toneladas en el mundo.

Los componentes principales de la cáscara de arroz son la hemicelulosa, la celulosa y la lignina, que suman aproximadamente del 75 al 90 % y el contenido restante de cenizas del 17 al 20 % (Tribe, 1974). La ceniza se compone principalmente de > 90 % de sílice y algunas impurezas metálicas. La combustión de la cáscara de arroz en condiciones controladas produce cenizas que contienen sílice casi pura. Los pretratamientos con ácido clorhídrico, ácido sulfúrico o ácido nítrico antes de la combustión, eliminan las impurezas metálicas como el hierro, manganeso, calcio, sodio, potasio y magnesio que influyen en la pureza y color de la sílice (Yalcin y Sevinc, 2001).



**Figura 3.** Cáscara de arroz para obtener la biosílice y la fibra.

Se ha utilizado la cáscara de arroz para la fabricación de productos industriales (Aridi *et al.*, 2017). Recientemente, varias industrias, como la automotriz, de construcción y embalaje han desarrollado materiales compuestos reforzados (Kumar *et al.*, 2019); estos son uniones macroscópicas de dos o más materiales distintos, diferenciados en su función, forma o composición que forman un tercer material con propiedades originales. Son heterogéneos, es decir, sus propiedades varían en todo su volumen, aportando las mejores características al compuesto, incluso aquellas que ninguno de los constituyentes posee. En la Figura 4 se esquematizan diversos materiales compuestos.



**Figura 4.** Clasificación de los materiales compuestos con base en el tipo de refuerzo.

Por ser amigables con el medio ambiente, el desarrollo de polímeros reforzados con fibra natural ha incrementado su importancia sobre los basados en fibra sintética. Así, Srinivasan y sus colegas (2014) reportaron que con nanopartículas de  $\text{SiO}_2$  se incrementaron las propiedades mecánicas de los compuestos epoxídicos. Kumar y sus colegas (2019) utilizaron la cáscara de arroz como relleno mostrando una mejora a la tracción, flexión y dureza, estableciendo que la sílice disminuye el desgaste de los compuestos epoxídicos. Mientras que Lam y colaboradores (2012) reportaron mayor tensión y módulo de elasticidad para los compuestos con menor porcentaje de fibra de henequén debido a que estas no se pueden infiltrar correctamente con la colofonia, lo que genera una interface.

Con base en lo anterior, el presente proyecto está enfocado en desarrollar un material compuesto biodegradable a partir de la colofonia y la biosílice de la cáscara de arroz, como matriz polimérica y material de refuerzo respectivamente, así como determinar sus propiedades mecánicas, físicas y térmicas para llevarlo a un escalamiento industrial como plástico duro, generando productos de más alto valor agregado.

## Metodología

- *Materiales*

La cáscara de arroz (CA) fue donada por la organización Arroceros del Valle del Márquez S.P.R. de R.L. del municipio de Lombardía, Michoacán. La colofonia se obtuvo de la procesadora de resinas La Soledad S.A. de C.V. ubicada en Ciudad Industrial, Morelia, Michoacán. El HCl se adquirió de Sigma Aldrich y se preparó una solución de HCl 0.5M.

- *Obtención de biosílice a partir de la cáscara de arroz*

El proceso de obtención de biosílice a partir de cáscara de arroz se describe en la Figura 4, siguiendo los procedimientos descritos por Susanto (2019) y Bakar y colaboradores (2016).

- *Purificación*

La CA se lavó con agua destilada agitando durante 10 min. Al término de este tiempo, el agua se decantó y la CA se dejó secar a temperatura ambiente durante una semana.

- *Molido y cribado*

La CA purificada se molió utilizando un molino manual. Posterior a esto, se cribó en un tamizador Ro-Tap RX-29 utilizando mallas de número 20, 40 y 60. Para nuestro interés se utilizó la fracción de la malla 60, es decir, las partículas con un tamaño menor a 250  $\mu\text{m}$ . La harina de cáscara de arroz (HCA) se colocó en el horno de secado a 105 °C hasta obtener peso constante.

- *Pretratamiento químico*

La HCA previamente acondicionada se mezcló con la solución de HCl 0.5M agregando 10 % en peso de HCA. La mezcla se mantuvo en agitación durante 30 min a 60 °C. Posterior a ello, se filtró y se lavó con agua destilada hasta neutralizarla. Enseguida, la HCA pretratada se dejó secar a temperatura ambiente durante 24 h, para posteriormente ser colocada en un horno a condiciones programadas a 135 °C por 14 h, obteniendo una HCA anhidra que se observa al final de la Figura 5.



**Figura 5.** Proceso de obtención de biosílíce a partir de la cáscara de arroz (CA).

- *Porcentaje de biosílíce de cáscara de arroz*

La HCA anhidra se colocó en un crisol de porcelana, previamente secado (650 °C, 1 h) y pesado, el cual se introdujo en una mufla a 100 °C, para después aumentar la temperatura a 600 °C y mantenerse constante durante 2 h. El crisol con el residuo se retiró de la mufla, se puso en un desecador, se enfrió y se pesó. El contenido de biosílíce se calculó en porcentaje de HCA anhidra. La siguiente fórmula da una relación de este cálculo.

Cálculos:

$$\% \text{ Biosílice} = \frac{(WC-wc)}{Wm} \times 100$$

Donde:

$WC$  = Peso del crisol con las cenizas en gramos.

$wc$  = Peso del crisol vacío en gramos.

$Wm$  = Peso de la muestra en gramos.

- *Elaboración de los materiales compuestos*

El material compuesto se obtuvo mezclando la colofonia con la biosílice. Para esto, se colocó una caja Petri con la muestra de colofonia sobre una placa de calentamiento, la colofonia se calentó aproximadamente a 90 °C. Una vez alcanzada dicha temperatura, se agregó la biosílice y la mezcla se homogeneizó con agitación manual. Se utilizó 5, 10 y 15 % en peso de biosílice con relación a la colofonia empleada.

- *Caracterización de los materiales*

La caracterización por Espectroscopía Infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR) se llevó a cabo directamente por ATR, a temperatura ambiente y presión atmosférica, utilizando un equipo FTIR tensor 27 Bruker, rango de número de onda de 400 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ . Para la determinación del punto de ablandamiento se utilizó el método Ring y Ball (2018) siguiendo las especificaciones de ASTM E-28, donde un anillo horizontal es forzado hacia abajo a una distancia de 25.4 mm.

## Resultados

- *Obtención de biosílice a partir de la cáscara de arroz*

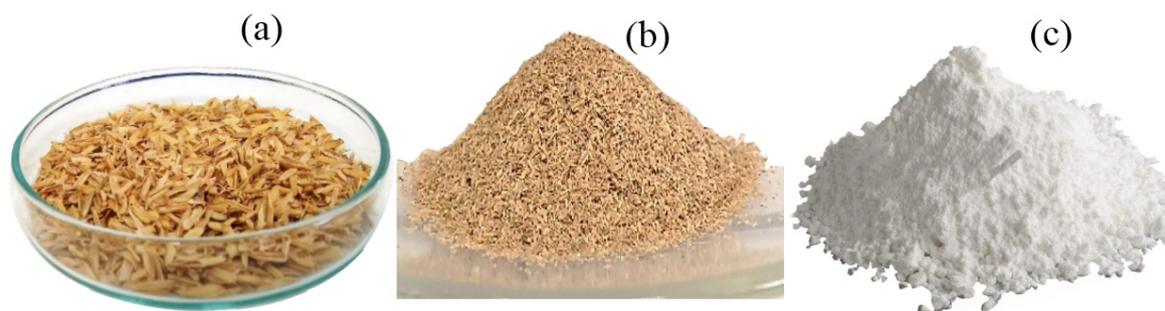
Se obtuvo un 20.818 % de biosílice a partir de la CA como se muestra en la Tabla 1. El porcentaje es consistente con lo reportado por otros autores como Susanto (2019) y Bakar y sus colegas (2016). La media aritmética de 20.818 % indica lo homogéneo de las muestras y lo asertivo del método de trabajo de obtención de biosílice. Así, con base en los resultados que presenta la Tabla 1, se puede indicar que la cascarilla de arroz con la cual se trabajó permite que esta sea viable de ser empleada por su potencial económico y homogeneidad en la producción de biosílice. Particularmente, se destaca la calidad de la biosílice, ya que la pureza obtenida es alta como determinó el análisis que posteriormente se indicará en este reporte. Esta pureza la habilita para su empleo como reforzante o relleno.

**Tabla 1**  
Datos estadísticos de la obtención de biosílice.

Muestra	Cáscara de Arroz CA, g	Biosílice g	Biosílice %
1	3.623	0.733	20.230
2	3.606	0.753	20.887
3	3.691	0.778	21.077
4	3.683	0.752	20.408
5	3.695	0.783	21.183
6	3.537	0.747	21.125
Estadística descriptiva			
Media aritmética:			20.818
Desviación estándar:			0.403
Varianza:			0.162

- Análisis físico de la cáscara de arroz y su biosílice*

El color de la biosílice que se obtuvo fue blanco (Figura 6c), mientras que el porcentaje y color fueron aquellas correspondientes a las condiciones empleadas en el proceso de obtención, partiendo de la CA (Figura 6a).

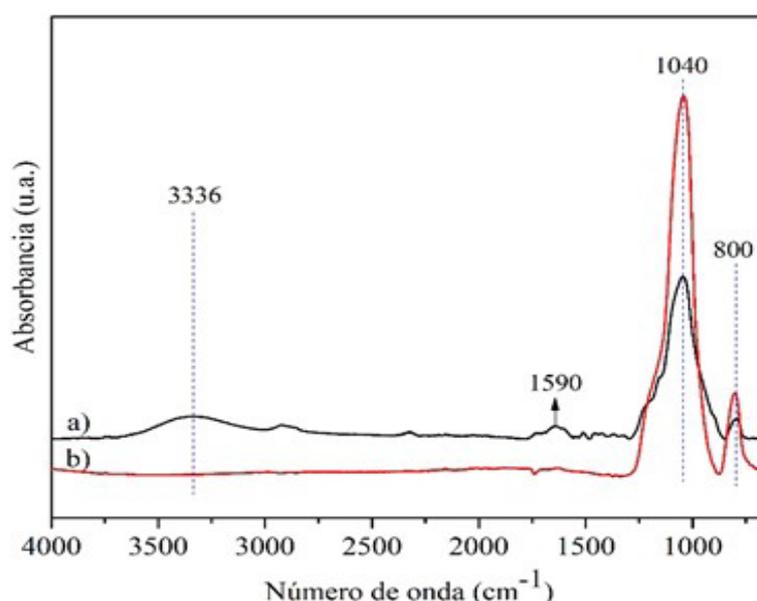


**Figura 6.** Materiales: a) Cáscara de Arroz, b) Harina de Cáscara de Arroz y c) biosílice.

En la Figura 6b se muestra la HCA o remanente de la CA después de un proceso de molido. El cambio de color entre la HCA y la biosílice es notable, dada la extracción y/o eliminación de compuestos lignocelulósicos de la HCA de la muestra.

- *FTIR de la cáscara de arroz y su biosílice*

En la Figura 7 se ilustra el análisis por Espectroscopía Infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR), donde «a» representa la CA y «b» la biosílice.



**Figura 7.** Espectro infrarrojo comparativo de a) cáscara de arroz y b) biosílice.

En el espectro Figura 7a se observa una señal ancha a  $3336\text{ cm}^{-1}$  que corresponde a los grupos hidroxilos de la fracción orgánica (lignina, celulosa, hemicelulosa), que se atribuye a los enlaces OH con vibraciones de estiramiento presentes en la molécula de celulosa, la cual representa el mayor porcentaje de la composición de CA. Se puede apreciar una señal a  $1590\text{ cm}^{-1}$  de un grupo acetilo, relacionados a la estructura de la lignina (Requena *et al.*, 2019). Resalta un pico a  $1040\text{ cm}^{-1}$  seguido de un pico de menor intensidad a  $800\text{ cm}^{-1}$ , correspondientes a sílice con estiramientos de enlaces asimétrico y simétrico respectivamente.

En el espectro infrarrojo (Figura 7b) las señales correspondientes a los grupos hidroxilo y acetilo ya no están presentes, corroborando la no existencia de material orgánico (y pureza de la biosílice) y las señales a  $1040$  y  $800\text{ cm}^{-1}$  asignadas a la sílice se ven intensificadas. Con base en lo anterior, se determinó que mediante el proceso térmico la CA generó la biosílice de alta calidad.

- *Análisis físico de la colofonia/biosílice*

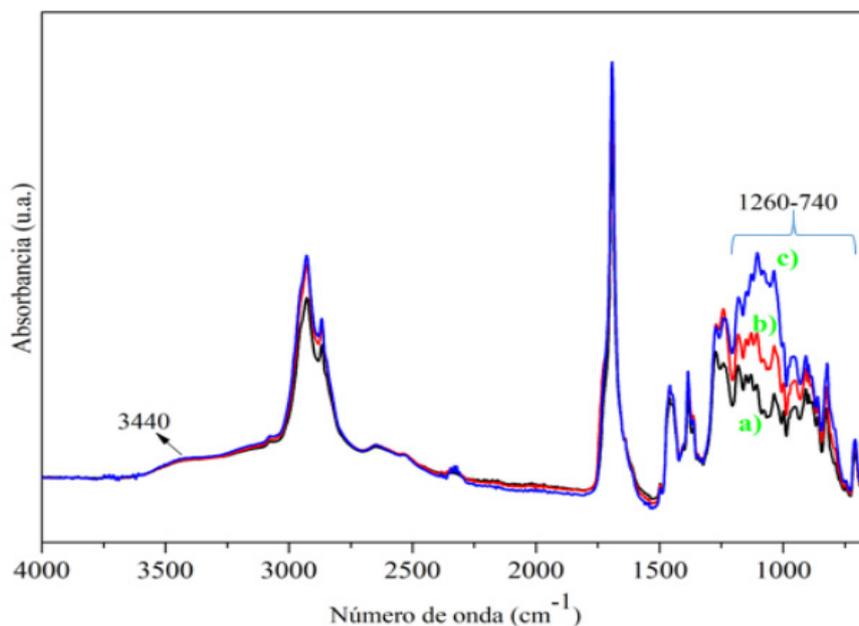
El material compuesto es visualmente homogéneo de viscoso a sólido duro. El color de la colofonia es amarillo (0 % de biosílice), en el material con 5 % de biosílice es amarillo claro, en los materiales con 10 y 15 % de biosílice el color se torna más claro, es decir, a mayor cantidad de biosílice el material presenta un color más claro, debido al color blanco de la biosílice. Todas las muestras presentan brillo (Figura 8), y este aumenta al aumentar la concentración de biosílice.



**Figura 8.** Material compuesto colofonia/biosílice.

- *FTIR de la asociación colofonia/biosílice*

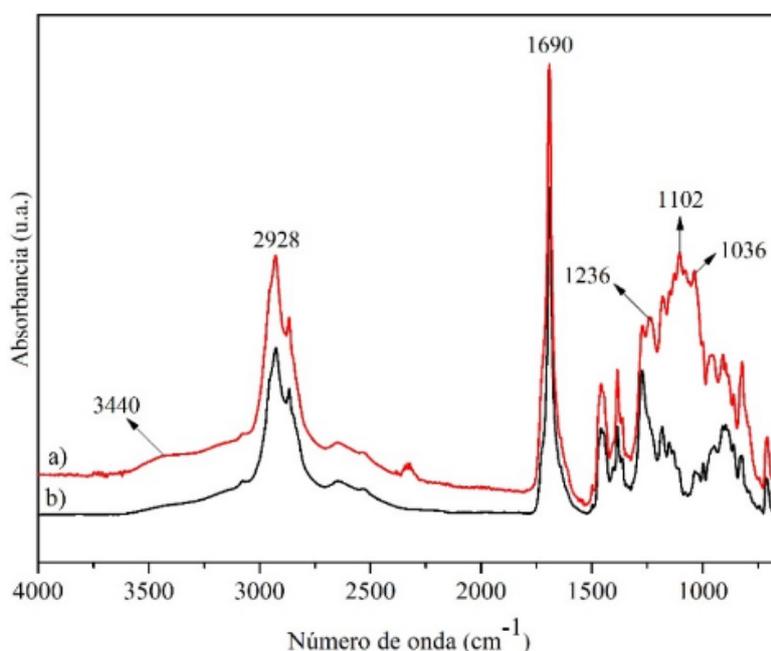
Análisis comparativo FTIR de los materiales compuestos colofonia/biosílice de los tres espectros de infrarrojo: Figura 9a, colofonia/biosílice 5 %; Figura 9b, colofonia/biosílice 10 %; y Figura 9c, colofonia/biosílice 15 %, muestran prácticamente los mismos grupos funcionales como se aprecia en la Figura 9. La señal a  $3440\text{ cm}^{-1}$  es asignada al enlace Si-OH. Mientras, el rango de  $1260\text{-}740\text{ cm}^{-1}$  corresponde a la señal de dióxido de silicio y es correspondiente a la cantidad empleada de biosílice en cada material, por lo cual, se observa un mayor incremento en la intensidad de la señal del enlace Si-OH en este rango a medida que aumenta la cantidad de biosílice en los materiales (ver sección derecha de la Figura 9). Por lo anterior, se puede deducir que la biosílice está interactuando con la colofonia a través de los grupos OH y sobre todo en el rango asignado al dióxido de silicio, manifestándose una clara tendencia de aumento en intensidad de las señales en el rango  $1260\text{-}740\text{ cm}^{-1}$  a medida que la cantidad de biosílice aumenta.



**Figura 9.** Espectro IR colofonia/biosilíce a) 5 %, b) 10 % y c) 15 %.

Fue conveniente realizar una comparación de espectros infrarrojos de colofonia y el material compuesto con 15 % de biosilíce para destacar los principales cambios como se ilustra en la Figura 10, donde «a» representa la colofonia y «b» la colofonia/biosilíce 15 %. En «a» se aprecian las dos señales características de la colofonia, un pico en el intervalo de 2900 a 3000  $\text{cm}^{-1}$  que corresponde a una vibración de tensión C-H, la señal a 1690  $\text{cm}^{-1}$  es una frecuencia característica del grupo C=O y resulta de las vibraciones de flexión de la molécula. En cuanto al espectro «b», los principales cambios se aprecian con una débil señal a 4440  $\text{cm}^{-1}$  correspondiente al enlace Si-OH. En 1236, 1102 y 1036  $\text{cm}^{-1}$  se observa el incremento en intensidad de las señales donde también se está dando la interacción entre la biosilíce y la colofonia.

Con base en lo presentado, se puede identificar que la interacción entre biosilíce y colofonia se da a través de los grupos OH's y en el rango de dióxido de silicio. Esto se da a través de asociaciones por enlaces hidrogeno, los cuales son de alto alcance y tienden a mantener a las moléculas alineadas y fuertemente asociadas.



**Figura 10.** Espectro IR comparativo de a) colofonia y b) colofonia/biosílice 15 %.

- *Análisis de Ring y Ball*

En la tabla 2 se muestran las temperaturas de reblandecimiento obtenidas por el método de Ring y Ball (2018), que van de 65 °C para colofonia a 75 °C para el material compuesto colofonia/biosílice y 20 % de CA (Figura 11). La biosílice inorgánica también puede absorber el calor generado durante el análisis.

**Tabla 2**  
Resultados del análisis de Ring y Ball.

Muestra	Temperatura °C
Colofonia	65
Colofonia/biosílice 5 %	66
Colofonia/biosílice 10 %	68
Colofonia/biosílice 15 %	71
Colofonia/biosílice 20 %	75

El aumento de la temperatura a la que se reblandece el material es de 10 °C, lo que indica que la resistencia térmica aumenta al incrementar la cantidad de biosílice. Esto se atribuye a la interacción orgánica/inorgánica entre la colofonia y la biosílice.



**Figura 11.** Análisis de Ring y Ball de colofonia/biosílice.

## Conclusiones

El análisis de FTIR determinó que mediante el proceso químico-térmico la cáscara de arroz generó biosílice. En cuanto a los materiales compuestos formados por la mezcla de colofonia y biosílice, el análisis físico indica que visualmente los compuestos son homogéneos. Mientras que, a través del análisis de FTIR, se pudo identificar que la interacción entre biosílice y colofonia se da a través de los grupos OH's y en el rango de dióxido de silicio, manifestándose una clara tendencia de aumento en intensidad de estas señales al aumentar la cantidad de biosílice. La temperatura de reblandecimiento del material compuesto indica que la biosílice le confiere resistencia térmica a la colofonia.

## Bibliografía

- AM Aridi, N., M Sapuan, S., S Zainudin, E., y M Al-Oqla, F. (2017). A Review of Rice Husk Bio-Based Composites. *Current Organic Synthesis*, 14(2), 263-271.
- ASTM E28-18. (2018). Standard Test Methods for Softening Point of Resins Derived from Pine Chemicals and Hydrocarbons, by Ring-and-Ball Apparatus. ASTM International, West Conshohocken, PA. 04.04.
- Bakar, R. A., Yahya, R., y Gan, S. N. (2016). Production of high purity amorphous silica from rice husk. *Procedia Chemistry*, 19, 189-195.
- Chen, Y., Wilbon, P. A., Chen, Y. P., Zhou, J., Nagarkatti, M., Wang, C., Chu, F., Decho, A. W., y Tang, C. (2012).

- Amphipathic antibacterial agents using cationic methacrylic polymers with natural rosin as pendant group. *RSC advances*, 2(27), 10275-10282.
- Chen, Y., Wilbon, P. A., Zhou, J., Nagarkatti, M., Wang, C., Chu, F., y Tang, C. (2013). Multifunctional self-fluorescent polymer nanogels for label-free imaging and drug delivery. *Chemical Communications*, 49(3), 297-299.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2013-2012). La producción de resina de pino en México, Biblioteca Virtual, Primera edición, México.
- Do, H. S., Park, J. H., y Kim, H. J. (2008). UV-curing behavior and adhesion performance of polymeric photoinitiators blended with hydrogenated rosin epoxy methacrylate for UV-crosslinkable acrylic pressure sensitive adhesives. *European Polymer Journal*, 44(11), 3871-3882.
- Gaillard, Y., Mija, A., Burr, A., Darque-Ceretti, E., Felder, E., y Sbirrazzuoli, N. (2011). Green material composites from renewable resources: Polymorphic transitions and phase diagram of beeswax/rosin resin. *Thermochimica Acta*, 521(1-2), 90-97.
- Ganewatta, M. S., Miller, K. P., Singleton, S. P., Mehrpouya-Bahrami, P., Chen, Y. P., Yan, Y., Nagarkatti, M., Nagarkatti, P., Decho, A. W., y Tang, C. (2015). Antibacterial and biofilm-disrupting coatings from resin acid-derived materials. *Biomacromolecules*, 16(10), 3336-3344.
- Ganewatta, M. S., Chen, Y. P., Wang, J., Zhou, J., Ebalunode, J., Nagarkatti, M., Decho A. W., y Tang, C. (2014). Bio-inspired resin acid-derived materials as anti-bacterial resistance agents with unexpected activities. *Chemical Science*, 5(5), 2011-2016.
- Gracia Mena, M. (2010). *Esterificación de colofonia con glicerina: estudio cinético y fenomenológico*. Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones.
- Kim, S. J., Lee, B. R., y Oh, E. S. (2015). Application of a bio-derivative, rosin, as a binder additive for lithium titanium oxide electrodes in lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 273, 608-612.
- Kumar, S., Mer, K. K. S., Gangil, B., y Patel, V. K. (2019). Synergy of rice-husk filler on physico-mechanical and tribological properties of hybrid Bauhinia-vahlii/sisal fiber reinforced epoxy composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(2), 2070-2082.
- Lam, E. U., Pliego, M. G. G., Pérez, V. G. M., y Ramirez, A. M. (2012). Determination of Mechanical Properties of Biodegradable Composites Made By Pine Resin Corn Fibers and Henequen Fibers. In *Key Engineering Materials*, 517, 422-429.
- Maiti, S., Ray, S. S., y Kundu, A. K. (1989). Rosin: a renewable resource for polymers and polymer chemicals. *Progress in polymer science*, 14(3), 297-338.
- Requena, R., Jiménez-Quero, A., Vargas, M., Moriana, R., Chiralt, A., y Vilaplana, F. (2019). Integral Fractionation of Rice Husks into Bioactive Arabinoxylans, Cellulose Nanocrystals, and Silica Particles. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(6), 6275-6286.
- Rowe J. W. (Ed.). (1989). *Natural Products of Woody Plants. Chemicals Extraneous to the Lignocellulosic Cell Wall*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Roy, S. S., Kundu, A. K., y Maiti, S. (1990). Polymers from renewable resources-13. Polymers from rosin acrylic acid adduct. *European polymer journal*, 26(4), 471-474.

- Schmidt, C., e Ilic, N. (2012). The mechanical stability of nano-hybrid composites with new methacrylate monomers for matrix compositions. *Dental Materials*, 28(2), 152-159.
- Shi, F., Ma, Y., Ma, J., Wang, P., y Sun, W. (2012). Preparation and characterization of PVDF/TiO<sub>2</sub> hybrid membranes with different dosage of nano-TiO<sub>2</sub>. *Journal of Membrane Science*, 389, 522-531.
- Srinivasan, C., Sathish, S., y Vignesh, K. (2014). Mechanical properties of chemically treated *Luffa Aegyptiaca* fiber reinforced epoxy matrix composites. *Int. J. Sci. Res. Manage*, 2, 1515-1524.
- Susanto, T. (2019). Impacts of rice husk ash filler loading on curing, morphological characteristics and tensile properties of natural rubber/ethylene propylene rubber blends. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 509(1), 012116.
- Tribe, N. (1974). *Utilization and recycling of agricultural wastes/byproducts: A country Report*. New Delhi, Department of Science and Technology.
- Yalcin, N., y Sevinc, V. (2001). Studies on silica obtained from rice husk. *Ceramics International*, 27(2), 219-24.
- Zachary L. G., Bajak, H. W. y Eveline, F.J. (1965). *Tall Oil and Its Uses*, McGraw-Hill New York.
- Zinkel, D. F. (1989). Naval stores. En J. W. Rowe (Ed.), *Natural Products of Woody Plants. Chemicals Extraneous to the Lignocellulosic Cell Wall* (pp. 953-978). Springer, Berlin, Heidelberg.

## **Nanopartículas de plata soportadas en una matriz de TiO<sub>2</sub> dopado con cerio, síntesis y aplicación antibacterial**

América Abisay Mondragón Herrera

Roberto Guerra González

Martha Angélica Lemus Solorio

Luis Arces Palomino Blas

Ramiro Escudero García

### **Introducción**

El agua es esencial para la vida, un buen suministro garantiza grandes beneficios a la salud (World Health Organization, 2008). De acuerdo con la OMS, cerca de cinco millones de personas mueren cada año por diversas afecciones relacionadas con la contaminación del agua, 50 % de estas muertes están asociadas a infecciones gastrointestinales. Los mayores riesgos bacterianos se deben a la ingesta de agua contaminada con heces fecales provenientes del propio ser humano y de animales (World Health Organization, 2008; Fenwick, 2006; George *et al.*, 2001; Grabow, 1996). El uso de desinfectantes es crucial para reducir agentes patógenos en la higiene personal, en el tratamiento de aguas y en el uso humano en general (McDonnell y Russell, 1999). En los últimos años la fotocatalisis de semiconductores se ha estudiado para tratamientos de remoción de contaminantes en agua y aire (Pant *et al.*, 2016; Opoku *et al.*, 2017). Las bacterias como *S. typhi* y *E. coli* son de principal interés, ya que al ser portadoras de enfermedades a través de alimentos, son responsables de enfermedades como la salmonelosis en el caso de *S. typhi* y de síndrome urémico hemolítico producido por *E. coli*, enfermedades graves que generan consecuencias permanentes en los seres humanos.

El dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) ha sido utilizado como fotocatalizador para fines antimicrobianos (Liou y Chang, 2012). Además, es conocido por sus diversas propiedades, entre ellas alta fotoactividad, buena estabilidad, bajo costo y baja toxicidad (Pant *et al.*, 2014; Pant *et al.*, 2019). El TiO<sub>2</sub> presenta tres estructuras cristalinas: rutilo, anatasa y brookita (Allen *et al.*, 2018). Las fases anatasa y rutilo son las que se utilizan en la fotocatalisis, la brookita no debido a que es poco estable (Zhang *et al.*, 2008; Di Paola *et al.*, 2013). La plata ha sido utilizada desde tiempos ancestrales como un agente bactericida (Klasen, 2000a, Klasen, 2000b). Los iones de plata presentes en el nitrato de plata y en la sulfadiazina de plata, han demostrado su eficacia contra bacterias gram positivas y gram negativas (Benli y Yalın, 2017; Sun *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2013; Mohiti-Asli *et al.*, 2014). Su característica de mayor importancia es su superficie de partículas de pequeño tamaño, la cual favorece su eficacia antimicrobiana y la biodisponibilidad de los materiales utilizados (Ying, 2008).

Sin embargo, debido a que el TiO<sub>2</sub> funciona bajo condiciones de UV (3.2 eV), desde hace mucho tiempo se ha optado por el dopaje con diversos metales para mejorar su sensibilidad a la luz visible (Williamson, 1939; Anpo *et al.*, 2001; Yu *et al.*, 2005; Asahi *et al.*, 2001; Burda *et al.*, 2003; Khan *et al.*, 2002; Park *et al.*, 2002). Se cree que la plata mejora la fotoactividad del TiO<sub>2</sub> al reducir la tasa de recombinación de sus portadores de carga foto-excitados y/o al proporcionar más su-

perficie para la adsorción (Sung-Suh *et al.*, 2004; Sclafani, *et al.*, 1997). La gran cantidad de plata liberada, ocasionalmente lleva a acortar la vida efectiva de la actividad antimicrobiana (Wang *et al.*, 1998). Del cerio no tenemos mucha información sobre su eficacia antibacteriana; sin embargo, en 2017 se realizaron algunas síntesis donde se incluía  $\text{TiO}_2$  co-dopado con plata y cerio de la cual se pudo observar que bajo luz o en oscuridad, dicho material elimina  $> 99.9\%$  de *E. coli* y *S. aureus* y se comprobó que podía utilizarse para la desinfección de bacterias (Moongraksathum y Chen, 2017).

## Metodología

Se sintetizó mediante el método de sol-gel a partir de butóxido de titanio  $\text{Ti}(\text{OBu})_4$  (Sigma Aldrich  $>97\%$ ), el cual se mezcló con etanol, agua desionizada, la cantidad exacta de óxido de cerio y nitrato cerico amónico. Se fueron añadiendo en ese orden cada una de las cantidades antes descritas y se agitaron con un agitador magnético durante aproximadamente 5 min, una vez listo se vaciaron en 4 viales del reactor de microondas Anton Paar Synthos 3000, en el cual se sintetizaron bajo las siguientes condiciones: temperatura máxima de operación  $180\text{ }^\circ\text{C}$ , tiempo de reacción 2 min, rampa 10 min. Posteriormente, se calcinaron durante 24 h a  $100\text{ }^\circ\text{C}$ .

## Impregnación húmeda incipiente

Se realizó una solución con nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) en agua con agitación constante a  $70\text{ }^\circ\text{C}$ . Se colocó el polvo de  $\text{Ti}_x\text{CexO}_2$  a baño María a  $70\text{ }^\circ\text{C}$  e impregnó gota a gota con la solución de  $\text{AgNO}_3$  durante 2 h, agitando y dejando secar la muestra. Se secó el polvo de  $\text{Ag}/\text{Ti}_x\text{CexO}_2$  durante 2 h a  $200\text{ }^\circ\text{C}$ , maceró y redujo con hidrogeno por 3 h a  $400\text{ }^\circ\text{C}$ .

## Caracterización fisicoquímica de los materiales

La cristalinidad de los sólidos fue determinada por difracción de rayos X usando un difractómetro SIEMENS D-500 acoplado a un tubo de rayos X, utilizando como blanco un ánodo de cobre radiación  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda = 1.54\text{ nm}$ ) y microscopía electrónica de barrido en un equipo SEM modelo JSM-6400 JEOL Noran Instruments, equipado para la espectroscopia de energía dispersiva de rayos X (EDS). Para la caracterización de las propiedades texturales, todas las isotermas de adsorción de  $\text{N}_2$  fueron determinadas a la temperatura de ebullición del nitrógeno líquido ( $77\text{ K}$ ), usando un sistema de absorción volumétrico totalmente automatizado (ASAP 2000 de MICROMERITICS).

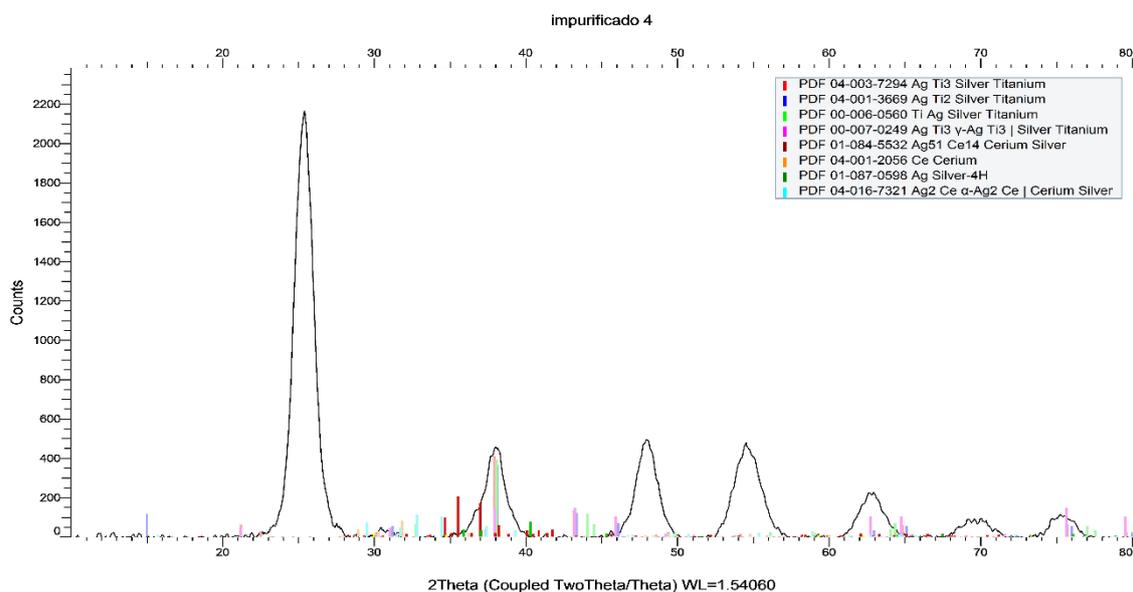
## Evaluación de la actividad antibacterial

Para probar la actividad antimicrobiana de los materiales, se utilizaron cepas de *Salmonella typhimurium* (ATCC 14028), las cuales fueron resembradas y conservadas a  $4\text{ }^\circ\text{C}$  con el fin de mantener la viabilidad. Se determinaron la concentración mínima inhibitoria (CMI) y concentración mínima bactericida (CMB) de los materiales como bactericidas. Para determinar la cinética de inhibición de las bacterias, la CMB promedio de los materiales se expondrá a una cantidad de bacterias contenidas en tubos con soya tripticaseina. Se tomaron muestras a diferentes tiempos, las cuales

se sembraron en cajas Petri con agar McConkey por la técnica de estriado en placa. Las placas se incubaron invertidas a 37 °C por 24 horas en atmósfera aeróbica y se realizó el conteo de colonias. Como control, una placa se inoculó con cultivo sin material bactericida al comienzo y al final.

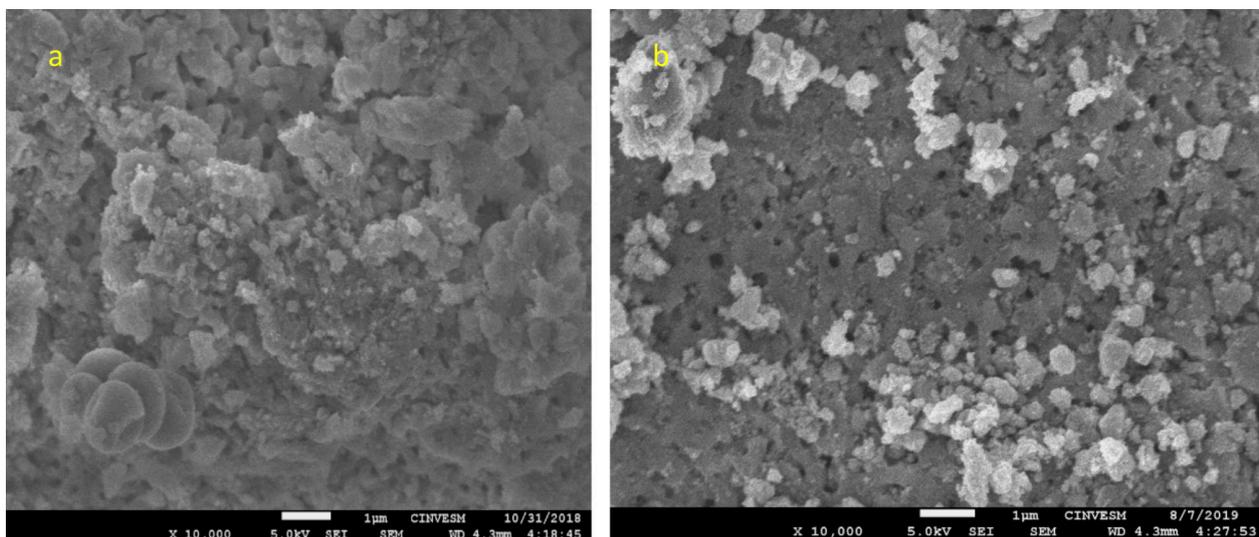
## Resultados

En la Figura 1 se muestra el difractograma para la muestra  $\text{Ag}/\text{Ti}_{0.96}\text{Ce}_{0.04}\text{O}_2$ , en este se observan las fases cristalinas de  $\text{TiO}_2$ -Ce y los depósitos de Ag. El patrón de difracción muestra que el  $\text{TiO}_2$  presenta una fase anatasa con una fracción minoritaria de la fase rutilo.

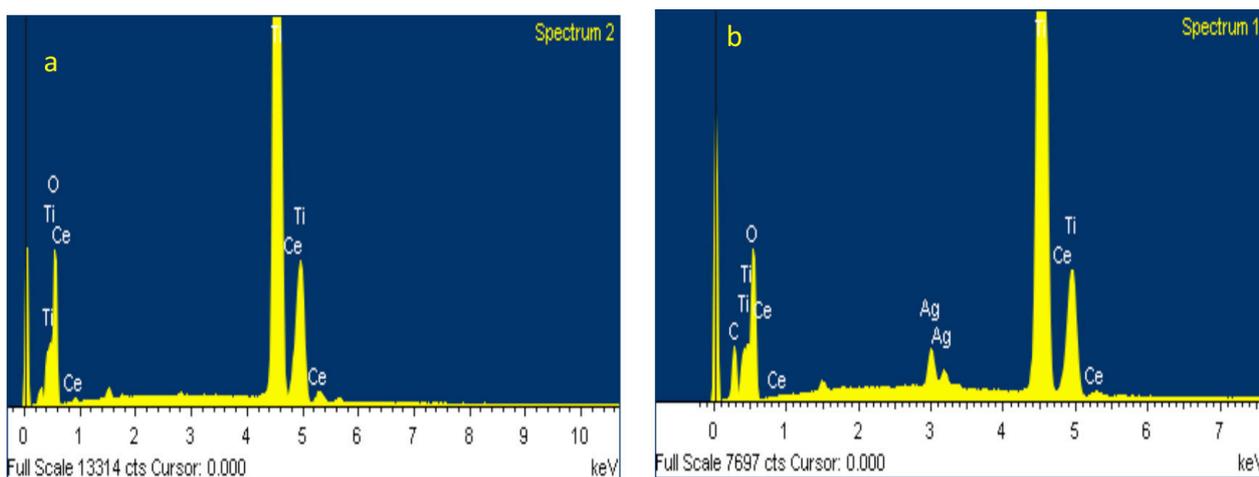


**Figura 1.** Difracción de rayos X de la muestra  $\text{Ag}/\text{Ti}_{0.96}\text{Ce}_{0.04}\text{O}_2$

En la Figura 2 se presenta la morfología de los materiales por microscopía electrónica de barrido (SEM). La Figura 2a muestra las micrografías de  $\text{Ti}_{0.96}\text{Ce}_{0.04}\text{O}_2$  a 10000X, y en ella se observan partículas irregulares con distribución de tamaño de lados aparentes con promedio de 0.5 nm y textura superficial rugosa, mientras que la muestra de  $\text{Ag}/\text{Ti}_{0.96}\text{Ce}_{0.04}\text{O}_2$  presenta una textura superficial rugosa más suave, lo cual puede atribuirse al tratamiento térmico al reducirse a 400 °C por 3 horas. En la Figura 3 se muestra el análisis cuantitativo elemental por medio de la Energía Dispersiva de Rayos X (EDS), se observa el pico de mayor intensidad correspondiente al elemento que, es en este caso, es titanio localizado en 4.5 keV.



**Figura 2.** Micrografías SEM a 10000X de las muestras: a)  $\text{Ti}_{0.96}\text{Ce}_{0.04}\text{O}_2$  y b)  $\text{Ag}/\text{Ti}_{0.96}\text{Ce}_{0.04}\text{O}_2$



**Figura 3.** Gráficas de espectrómetro dispersivo de la energía (EDS) a)  $\text{Ti}_{0.96}\text{Ce}_{0.04}\text{O}_2$  y b)  $\text{Ag}/\text{Ti}_{0.96}\text{Ce}_{0.04}\text{O}_2$

Los resultados texturales (áreas superficiales y volúmenes de poro) obtenidos del análisis de las isothermas  $\text{N}_2$  a 77 K han sido evaluadas por medio de la ecuación BET de Brunauer, Emmett y Teller (Brunauer, 1945). Los resultados de estas estimaciones están listados en la Tabla 1. A su vez, la distribución de tamaño de mesoporos ha sido evaluada por el método de Kelvin (K) y volumen total de poro, se representa como el volumen absorbido cercano a la saturación, calculado como volumen de líquido (regla de Gurvitsch). De acuerdo al perfil de las isothermas, todas corresponden a un sólido mesoporoso, es decir, el diámetro de los poros está entre 2 y 50 nm (ver Tabla 1).

**Tabla 1**  
Valores de área superficial y tamaño de poro.

Muestra	Área superficial (m <sup>2</sup> /g)	Diámetro de poro (nm)	Volumen de poro (cm <sup>3</sup> /g)
TiO <sub>2</sub>	130.99	5.68	0.236
Ti <sub>0.96</sub> Ce <sub>0.4</sub> O <sub>2</sub>	183.76	10.152	0.466
Ag/Ti <sub>0.96</sub> Ce <sub>0.4</sub> O <sub>2</sub>	182.76	8.72	0.398

Para estas pruebas de resistencia bacteriana se determinó la CMI y la CMB de acuerdo a las recomendaciones de la NCCLS [18, 19]. En las pruebas de resistencia se obtuvo que una CMI y CMB de  $5.5 \times 10^{-3}$  (g/mL) de Ag/Ti<sub>0.96</sub>Ce<sub>0.4</sub>O<sub>2</sub>, es suficiente para inhibir el crecimiento bacteriano de la *Salmonella typhimurium*, para la determinación de la CMB se consideró un halo mayor a 5 mm como negativo.

Debido a que la técnica turbidimétrica depende del tamaño de las células bacterianas, así como de la presencia de células dañadas, se realizaron pruebas microbiológicas de sembrado en placa para obtener curvas de crecimiento o inhibición bacteriana. En la Tabla 2 se muestran los resultados del promedio de tres ensayos de la cinética de crecimiento o inhibición bacteriana a tiempos de 0, 20, 50, 90 y 120 min de exposición de las bacterias frente a los materiales a 37 °C, 30 rpm y variando el pH. Las placas se incubaron invertidas a 37 °C por 24 h en atmósfera aeróbica y se realizó el conteo de colonias. Como patrón de referencia, una placa se inoculó con cultivo sin material bactericida.

**Tabla 2**  
Número de colonias que sobrevivieron a la exposición frente a los materiales.

Material / tiempo (min)	pH=5±0.2					pH=6±0.2				pH=7±0.2			
	0	20	50	90	120	20	50	90	120	20	50	90	120
Patrón	152	155	176	189	218	158	176	194	229	160	179	201	235
TiO <sub>2</sub>	152	153	165	171	182	155	163	168	179	155	168	172	192
Ti <sub>0.96</sub> Ce <sub>0.4</sub> O <sub>2</sub>	152	145	161	162	158	153	159	160	162	145	155	151	148
Ag/Ti <sub>0.96</sub> Ce <sub>0.4</sub> O <sub>2</sub>	152	84	35	21	1	98	42	15	0	84	35	18	0

En los resultados del monitoreo bacteriológico expuesto a los materiales, muestran que el patrón de referencia en todo el tiempo muestra un crecimiento, como era de esperarse, indicando que la bacteria no fue estresada por el cambio de pH en el medio nutritivo. Las bacterias frente

a los materiales  $\text{TiO}_2$  y  $\text{Ti}_{0.96}\text{Ce}_{0.4}\text{O}_2$  presentaron un comportamiento bacteriostático hasta los 90 min, manifestando un incremento a los 120 min de exposición. Se observa que la combinación de Ti-Ce no presenta un incremento en la población bacteriana después de los 120 min a diferencia de la exposición con solo Ti, en soluciones con pH ligeramente ácido, se observa además que la población bacteriana tiene una ligera tendencia a disminuir por efecto del cerio como lo reportado. El material  $\text{Ag}/\text{Ti}_{0.96}\text{Ce}_{0.4}\text{O}_2$  mostró en todo momento una inhibición de la *Salmonella typhimurium*, eliminando por completo las bacterias a 120 min.

## Conclusiones

La combinación de los elementos Ti, Ce y Ag en el material  $\text{Ag}/\text{Ti}_{0.96}\text{Ce}_{0.4}\text{O}_2$  funcionaron como un material bactericida para la *Salmonella typhimurium*, el contenido de plata de 4 % en peso fue suficiente para inhibir la bacteria a concentraciones bajas del material, esto pudiera deberse a que la acción del cerio y el titanio al desgarrar la membrana celular, puede la plata interaccionar fácilmente con el núcleo de la bacteria.

## Bibliografía

- Allen, N. S., Mahdjoub, N., Vishnyakov, V., Kelly, P.J. y Kriek, R.J. (2018). The effect of crystalline phase (anatase, brookite and rutile) and size on the photocatalytic activity of calcined polymorphic titanium dioxide ( $\text{TiO}_2$ ). *Polymer Degradation and Stability*, 150, 31-36.
- Anpo, M., Kishiguchi, S., Ichihashi, Y., Takeuchi, M., Yamashita, H., Ikeue, K., Morin, B., Davidson, A. y Che, M. (2001). The design and development of second-generation titanium oxide photocatalysts able to operate under visible light irradiation by applying a metal ion-implantation method. *Research on Chemical Intermediates*, 27, 459-467.
- Asahi, R., Morikawa, T., Ohwaki, T., Aoki, K. y Taga, Y. (2001). Visible-Light Photocatalysis in Nitrogen-Doped Titanium Oxides. *Science*, 293(5528), 269-271.
- Benli, B. y Yalin, C. (2017). The influence of silver and copper ions on the antibacterial activity and local electrical properties of single sepiolite fiber: A conductive atomic force microscopy (C-AFM) study. *Applied Clay Science*, 146, 449-456.
- Burda, C., Chen, X., Narayanan, R. y El-Sayed, M. A. (2005). Chemistry and Properties of Nanocrystals of Different Shapes. *Chem. Rev*, 105(4), 1025-1102.
- Burda, C., Lou, Y., Chen, X., Samia, A. C. S., Stout, J. y Gole, J. L. (2003). Enhanced Nitrogen Doping in  $\text{TiO}_2$  Nanoparticles. *Nano Letters*, 3(8), 1049-1051.
- Carey, J., Lawrence, J. y Tosine, H. (1976). Photodechlorination of PCB's in the presence of titanium dioxide in aqueous suspensions. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*, 16(6), 697-701.
- Chen, R., Ni, H., Zhang, H., Yue, G., Zhan, W. y Xiong, P. (2013). A preliminary study on antibacterial mechanisms of silver ions implanted stainless steel. *Vacuum*, 89, 249-253.

- Di Paola, A., Bellardita, M. y Palmisano, L. (2013). Brookite, the Least Known TiO<sub>2</sub> Photocatalyst. *Catalysts*, 3(1), 36-73.
- Fenwick, A. (2006). Waterborne Diseases – Could they be Consigned to History? *Science*, 313(5790), 1077-1081.
- Fujishima, A. y Honda, K. (1972). Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode. *Nature*, 238, 37-38.
- Fujishima, A., Tata, N. R., y Tryk, A. (2000). Titanium Dioxide Photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology C*, 1(1), 1-21.
- George, I., Crop, P. y Servais, P. (2001). Use of  $\beta$ -D-Galactosidase and  $\beta$ -D-Glucuronidase Activities for Quantitative Detection of Total and Faecal Coliforms in Wastewater. *Can. J. Microbiol.*, 47(7), 670-675.
- Grabow, W. O. K. (1996). Waterborne Diseases: Update on Water Quality Assessment and Control. *Water SA*, 22(2), 193-202.
- Hoffmann, M. S., Martin, T., Choi, W. y Bahnemann, D.W. (1995). Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis. *Chem. Rev.*, 95(1), 69-96.
- Khan, S. U. M., Al-Shahry, M. y Ingler Jr., W.B. (2002). Efficient photochemical water splitting by a chemically modified n-TiO<sub>2</sub>. *Science*, 297(5590), 2243-2245.
- Klasen, H. J. (2000). A historical review of the use of silver in the treatment of burns. II. Renewed interest for silver. *Burns*, 26(2), 131-138.
- Klasen, H. J. (2000). Historical review of the use of silver in the treatment of burns. I. Early uses. *Burns*, 26(2), 117-130.
- Liou, J. W. y Chang, H. H. (2012). Bactericidal effects and mechanisms of visible light-responsive titanium dioxide photocatalysts on pathogenic bacteria. *Archivum immunologiae et therapiae experimentalis*, 60, 267-275.
- McDonnell, G. y Russell, A. D. (1999). Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance. *Clinical microbiology reviews*, 12(1), 147-179.
- Mills, A. y Hunte, S. L. (1997). An overview of semiconductor photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 108(1), 1-35.
- Mohiti-Asli, M., Pourdeyhimi, B. y Loba, E.G. (2014). Novel, silver-ion-releasing nanofibrous scaffolds exhibit excellent antibacterial efficacy without the use of silver nanoparticles. *Acta Biomater*, 10(5), 2096-2104.
- Moongraksathum B. y Chen, Y. (2018). Anatase TiO<sub>2</sub> co-doped with silver and ceria for antibacterial application. *Catalysis today*, 310, 68-74.
- Opoku, F., Govender, K. K., van Sittert, C. G. C. E. y Govender, P. P. (2017). Recent Progress in the Development of Semiconductor-Based Photocatalyst Materials for Applications in Photocatalytic Water Splitting and Degradation of Pollutants. *Adv. Sustain. Syst.*, 1, 1700006.
- Pant, B., Barakat, N. A. M., Pant, H. R., Park, M., Saud, P. S., Kim, J. W. y Kim, H. Y. (2014). Synthesis and photocatalytic activities of CdS/TiO<sub>2</sub> nanoparticles supported on carbon nanofibers for high efficient adsorption and simultaneous decomposition of organic dyes. *J. Colloid Interface Sci.*, 434, 159-166.
- Pant, B., Park, M. y Park, S.J. (2019). Hydrothermal synthesis of Ag<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> loaded reduced graphene oxide nanocomposites with highly efficient photocatalytic activity. *Chem. Eng Commun.*, 207(5), 688-695.

- Pant, B., Park, M., Kim, H. Y. y Park, S. J. (2016). Ag-ZnO photocatalyst anchored on carbon nanofibers: Synthesis, characterization, and photocatalytic activities. *Synth. Met.*, 220, 533-537.
- Park, C. H., Zhang, S. B. y Wei, S. H. (2002). Origin of p-type doping difficulty in ZnO: The impurity perspective. *Phys. Rev.*, B 66 073202.
- Rojas Cervantes, M. L. (2015). *Diseño y síntesis de materiales «a medida» mediante el método SOL-GEL*. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid.
- Scalafani, A., Mozzanega, M. N. y Herrmann, J. M. (1997). Influence of silver deposits on the photocatalytic activity of titania. *Journal of Catalysis*, 168(1), 117-120.
- Seery, M. K., George, R., Floris, P. y Pillai, S.C. (2007). Silver Doped Titanium Dioxide Nanomaterials for Enhanced Visible Light Photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 189, 258-263.
- Somorjai, G. A. (1996). Modern Surface Science and Surface Technologies: An Introduction. *Chem. Rev.*, 96(4), 1223-1236.
- Sun, Z., Fan, C., Tang, X., Zhao, J., Song, Y., Shao, Z. y Xu, L. (2016). Characterization and antibacterial properties of porous fibers containing silver ions. *Appl. Surf. Sci.*, 387, 828-838.
- Sung-Suh, H. M., Choi, J. R., Hah, H. J., Koo, S. M. y Bae, Y. C. (2004). Comparison of Ag deposition effects on the photocatalytic activity of nanoparticulate TiO<sub>2</sub> under visible and UV light irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 163(1-2), 37-44.
- WHO (World Health Organization). (2008). *Guidelines for Drinking-water Quality, Incorporating 1st and 2nd Addenda* (3rd Ed., vol. 1), Recommendations, Geneva, Switzerland.
- Ying, J.Y. (2008). The era of nanotechnology. *Nano Today*, 3(1-3), 1.
- Yu, J. C., Ho, W., Yu, J., Yip, H., Wong, P. K. y Zhao, J. (2005). Efficient Visible-Light-Induced Photocatalytic Disinfection on Sulfur-Doped Nanocrystalline Titania. *Environ. Sci. Technol.*, 39(4), 1175-1179.
- Zhang, J., Xu, Q., Feng, Z., Li, M. y Li, C. (2008). Importance of the Relationship between Surface Phases and Photocatalytic Activity of TiO<sub>2</sub>. *Angew. Chem.*, 120(9), 1790-1793.

# Reacción de morita-baylis-hillman en sistemas esteroidales $\alpha$ , $\beta$ -insaturados, catalizada por tioureas

Juan Antonio Rivas Loaiza  
Yliana López Castro  
Mario Armando Gómez Hurtado  
Janett Betzabé González Campos  
Rocío Huanosto Vázquez  
Juan Pablo García Merinos

## Introducción

En la última década, la organocatálisis ha experimentado un crecimiento exponencial con numerosas aplicaciones en diferentes reacciones orgánicas. Lo anterior, ya que presenta una serie de ventajas prácticas frente al uso de catalizadores organometálicos y enzimas, tales como ahorro en costos, tiempo y energía, manipulación sencilla de las reacciones y minimización de residuos químicos. Además de ser estables frente a la humedad, oxígeno y por su fácil disponibilidad (Figura 1) (Alemán y Cabrera, 2013; MacMillian, 2008).

- Estables en aire y agua
- No tóxicos
- Bajo costo y fáciles de preparar
- Simplicidad en su uso
- Ambos enantiómeros son accesibles
- Accesibilidad a partir de sustancias naturales

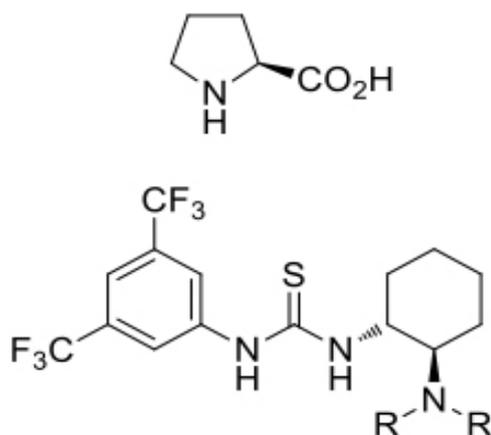


Figura 1. Organocatalizadores típicos y ventajas de la organocatálisis.

Para la síntesis que involucra adiciones conjugadas, es necesario utilizar organocatalizadores bifuncionales por el hecho de que la carga del electrófilo en el estado de transición, se encuentra más alejada del nucleófilo. Por lo tanto, agregar un segundo grupo activante permite fijar el electrófilo lo suficientemente cerca del nucleófilo para que pueda llevarse a cabo la reacción (Serdyuk *et al.*, 2013; Rivas-Loaiza *et al.*, 2018). La mayoría de los organocatalizadores bifuncionales cuentan con un ácido de Brønsted y una base de Lewis, siendo posible la activación simultánea del electrófilo y el nucleófilo (Figura 2).

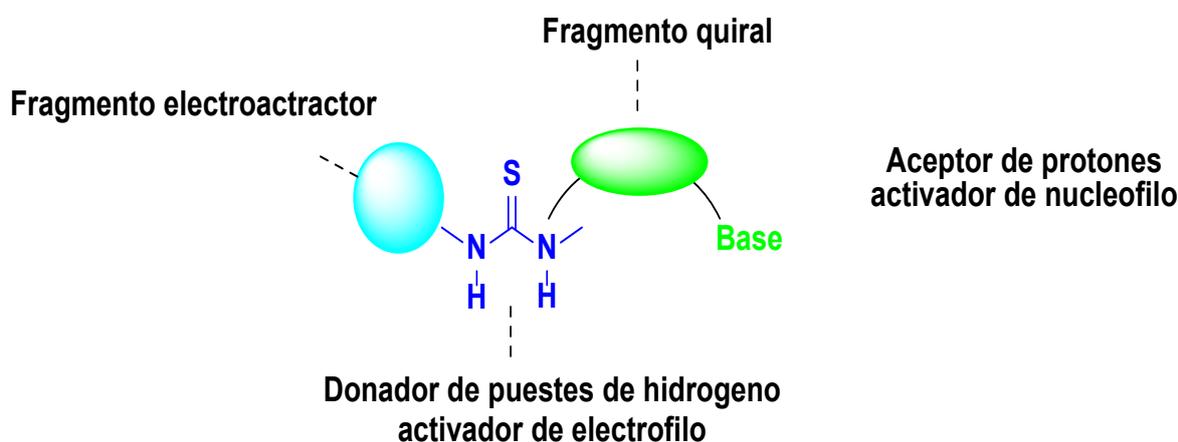


Figura 2. Fundamento de un organocatalizador bifuncional.

Schreiner y colaboradores (2013) mostraron la actividad catalítica de las tioureas al introducir el sustituyente *N*-trifluorometilfenil que incrementa la solubilidad y acidez del grupo NH. Esta tiourea fue utilizada en el estudio de reacciones de Diels-Alder (Figura 3).

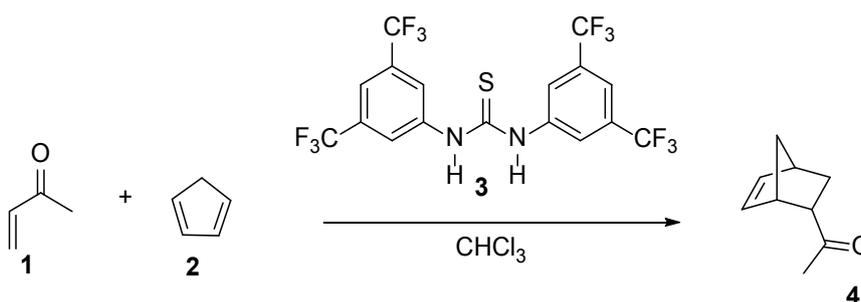
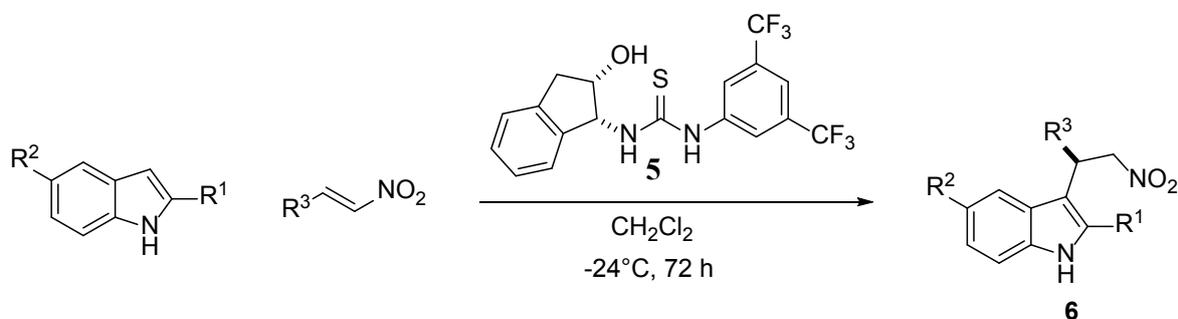


Figura 3. Reacción de Diels-Alder catalizada por tiourea.

Ricci y sus colegas (2004) dieron a conocer el primer ejemplo organocatalítico de la reacción de adición de indol a un nitroalqueno, que puede considerarse una reacción de alquilación de Friedel-Crafts, reacción clave en química orgánica sintética para la formación de enlaces C-C. Se obtuvieron buenos rendimientos y buenos excesos enantioméricos con nitroolefinas aromáticas, heteroaromáticas y alifáticas. La presencia del grupo NH en el indol y del hidroxilo en el catalizador resultó ser esencial para la alta selectividad observada (Figura 4).



**Figura 4.** Alquilación de Friedel-Crafts de indoles con nitroolefinas catalizada por la tiourea bifuncional.

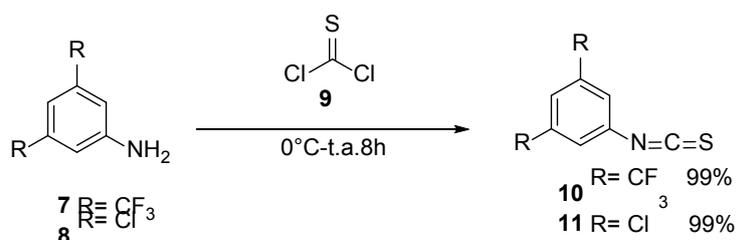
Como se describió anteriormente, el fragmento tiourea (-HN-CS-NH-) es un grupo funcional versátil en el diseño de nuevos organocatalizadores para la activación de diferentes grupos funcionales, por otra parte, la reacción de Morita-Baylis-Hillman (MBH) es una reacción de formación de un enlace carbono-carbono que se utiliza para obtener moléculas polifuncionalizadas de gran utilidad sintética. Considerando lo anterior, en el presente proyecto se exploró la actividad organocatalítica de diferentes tioureas en la reacción de Morita-Baylis-Hillman sobre sistemas  $\alpha$ ,  $\beta$ -insaturados esteroidales.

## Materiales y métodos

La asignación estructural de los compuestos se realizó con ayuda de métodos espectroscópicos. Los reactivos se compraron de la casa comercial Sigma-Aldrich. El seguimiento de las reacciones se llevó a cabo por medio de cromatografía en capa fina (CCF) y la separación de los productos obtenidos se realizó mediante cromatografía en columna, empacadas con gel de sílice grado (70-230 Mesh).

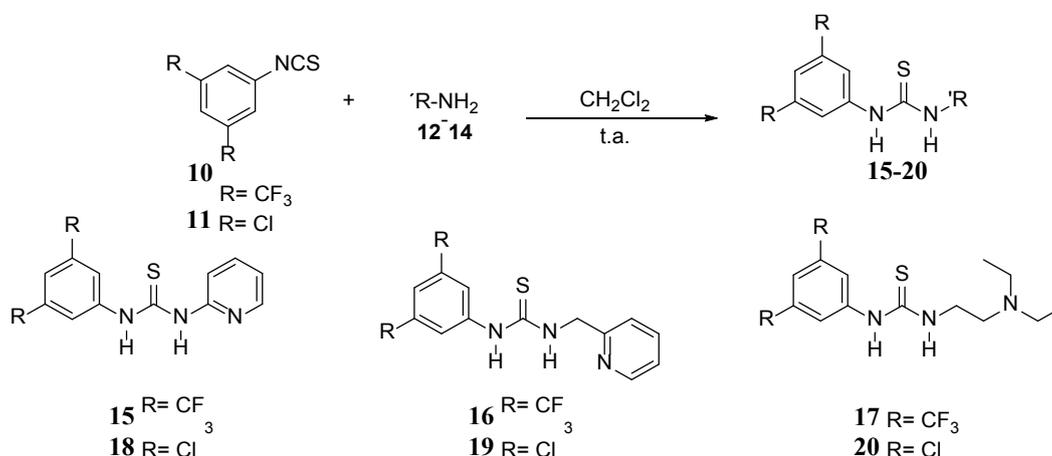
## Resultados y discusión

El presente trabajo consistió en preparar los catalizadores de tiourea, para ello se inició la obtención de los isotiocyanatos **10** y **11**. Las aminas **7** y **8** se hicieron reaccionar con tiofosgeno **9** a 0 °C en DCM como disolvente y previa adición de una solución saturada de bicarbonato de sodio. Posteriormente, la reacción se mantuvo en agitación a temperatura ambiente hasta completar la desaparición de la materia prima, enseguida el crudo de reacción se purificó mediante columna cromatográfica obteniendo los productos **10** y **11** en forma de miel en rendimiento del 99 % (Figura 5).



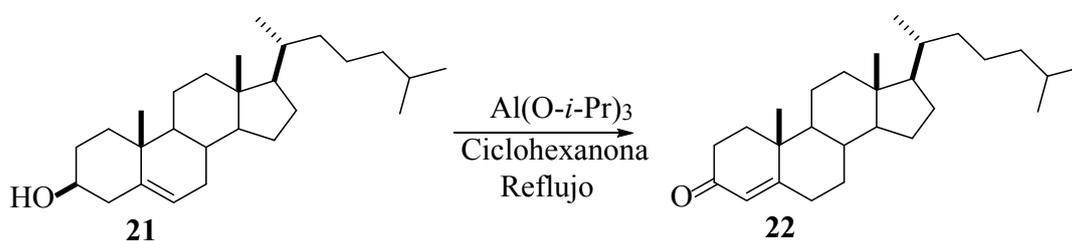
**Figura 5.** Preparación de los isotiocyanatos **10** y **11**.

Enseguida se continuó con la preparación de las tioureas **15-20**, las cuales se obtuvieron haciendo reaccionar las aminas **12-14** con los compuestos **10** y **11** en diclorometano a temperatura ambiente durante 4 h. Las tioureas se obtuvieron en 98 % de rendimiento después de su purificación por cristalización (Figura 6).



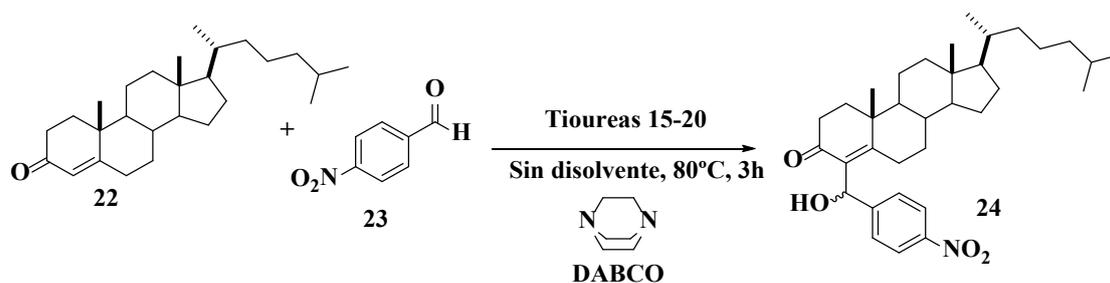
**Figura 6.** Preparación de los organocatalizadores.

Se continuó con la evaluación organocatalítica de las tioureas **15-20** en la reacción de MBH, utilizando la enona  $\alpha, \beta$ -insaturada obtenida a partir del colesterol (Flores Abad, 2019).



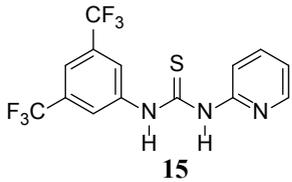
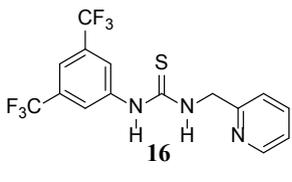
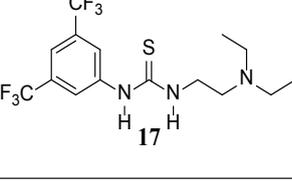
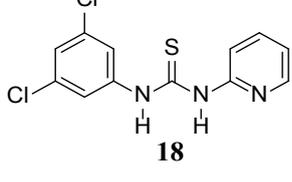
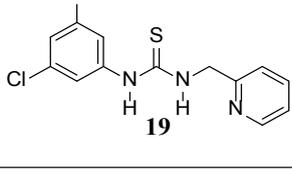
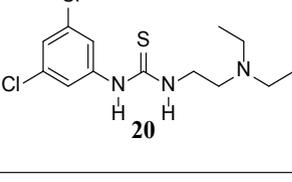
**Figura 7.** Oxidación del anillo A del colesterol (22).

Se hizo reaccionar la enona, el *p*-nitrobenzaldehído en presencia de las diferentes tioureas. Los resultados muestran que las tioureas conteniendo el sistema aromático de piridina **15**, **16**, **18** y **19**, catalizan dando trazas del producto deseado, mientras que las tioureas **17** y **20** de cadena alifática conducen a la formación del producto **22** en mezcla epimérica en rendimientos pobres, 12 % y 9 % respectivamente (Tabla 1).



**Figura 8.** Obtención del compuesto **24**.

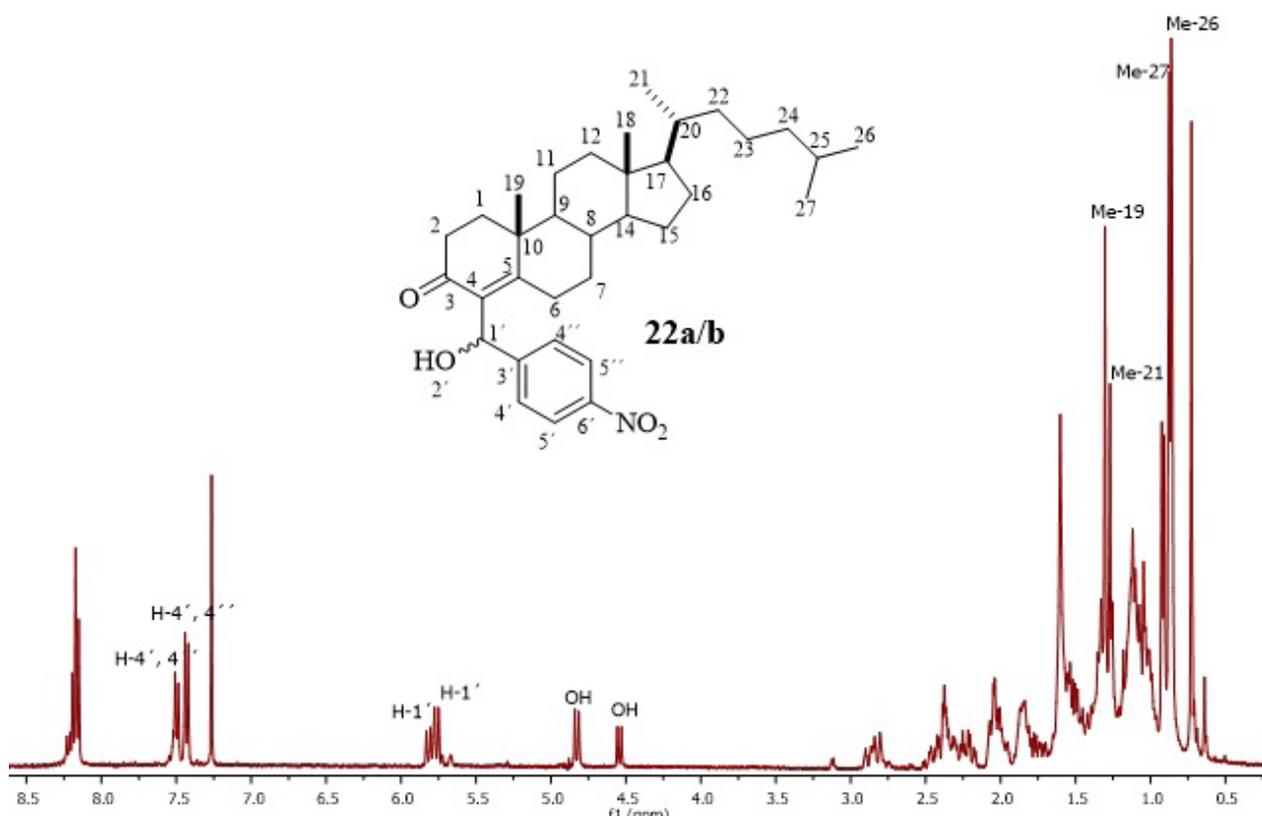
**Tabla 1**  
Rendimientos.

Ensayo	Catalizador	Tiempo (h)	Producto	Rendimiento %
1	 <p>15</p>	4	22	n.r
2	 <p>16</p>	4	22	Trazas
3	 <p>17</p>	4	22	12
4	 <p>18</p>	4	22	n.r.
5	 <p>19</p>	4	22	Trazas
6	 <p>20</p>	4	22	9

*Los rendimientos fueron determinados después de la purificación mediante cromatografía en columna.*

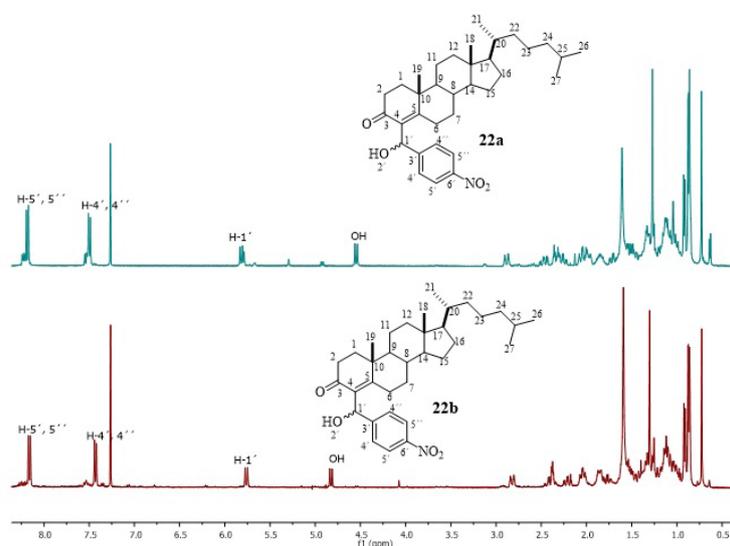
En la Figura 9 se muestra el espectro de RMN de  $^1\text{H}$  en el cual se puede observar que la reacción procede dando lugar a la mezcla diastereomérica en una relación (63:37). Las señales ob-

servadas en la región de aromáticos, así como las dobles asignadas a los grupos –OH en 4.83 y 4.54 ppm, en conjunto con las señales de la región alifática características del colesterol, confirmaron la reactividad de los organocatalizadores **17** y **20**.



**Figura 9.** Espectro de RMN de  $^1\text{H}$  (400 MHz) de **22a/b** en  $\text{CDCl}_3$

La mezcla epimérica se llevó a purificación por columna cromatográfica, a manera de ejemplo en la Figura 10 se muestran los espectros de RMN de  $^1\text{H}$  para los productos **22a** y **22b**.



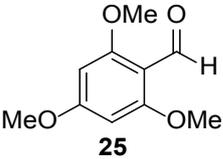
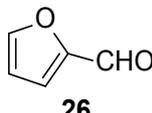
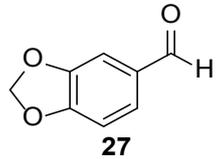
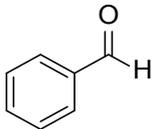
**Figura 10.** Espectro de RMN de  $^1\text{H}$  (400 MHz) de **22a/22b** en  $\text{CDCl}_3$

Una vez identificado el compuesto **22** y con el objetivo de incrementar los rendimientos, se realizaron otros ensayos variando las condiciones de reacción con el uso del catalizador **17**. En la Tabla 2 se muestran los resultados, observando únicamente la formación del producto deseado en los ensayos 1 y 8 en rendimientos pobres.

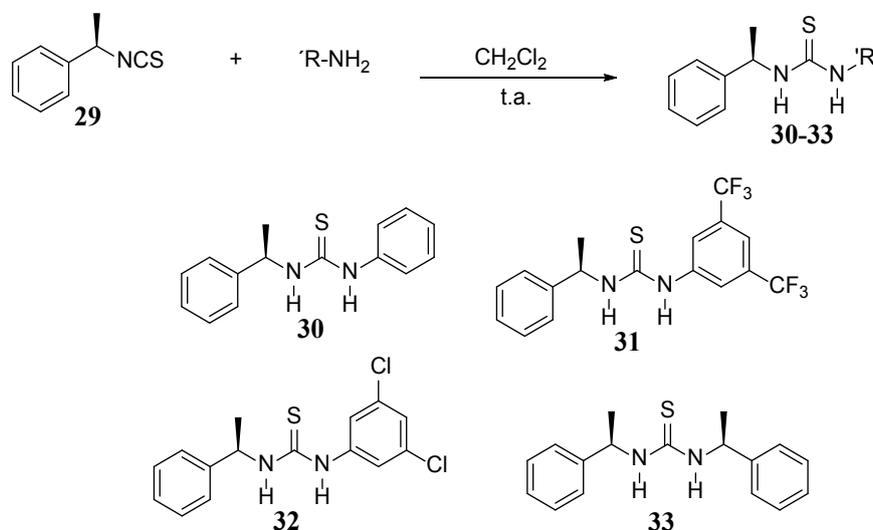
**Tabla 2**  
Ensayos de condiciones de reacción.

Ensayo	Tiempo	Temperatura	Base	Rendimiento %	Disolvente
1	8 h	80 °C	DABCO	10	Sin disolvente
2	24 h	80 °C	DABCO	Descomposición	Sin disolvente
3	24 h	reflujo	DABCO	n.r.	Acetonitrilo
4	24 h	reflujo	DABCO	n.r.	Tolueno
5	72 h	reflujo	DABCO	n.r.	1,2-DCE
6	24 h	reflujo	DABCO	n.r.	MeOH
7	72 h	t.a	$\text{Ph}_3\text{P}$	n.r.	$\text{CHCl}_3$
8	8 h	80 °C	$\text{Ph}_3\text{P}$	Trazas	Sin disolvente
9	72 h	t.a.	Imidazol	n.r.	THF
10	2 h	80 °C	Imidazol	8	Sin disolvente
11	4 h	80 °C	$\text{Et}_3\text{N}$	Trazas	Sin disolvente
12	12 h	80 °C	$\text{Et}_3\text{N}$	Trazas	Sin disolvente

Adicional a los ensayos anteriores, se realizaron otras pruebas utilizando los aldehídos, 2,4,6-trimetoxibenzaldehído (**25**), furfural (**26**), piperonal (**27**) y benzaldehído (**28**) (Tabla 3) obteniendo en todos los casos recuperación de la materia prima.

Tabla 3 Aldehídos utilizados.			
 <p><b>25</b></p>	 <p><b>26</b></p>	 <p><b>27</b></p>	 <p><b>28</b></p>

Los resultados obtenidos en presencia de tioureas aquirales, demuestran que el núcleo esteroideal no ejerce efecto significativo sobre la distereoselectividad de los productos. Con estos antecedentes se prepararon los organocatalizadores enantioméricamente puros **30-33** (Figura 11).

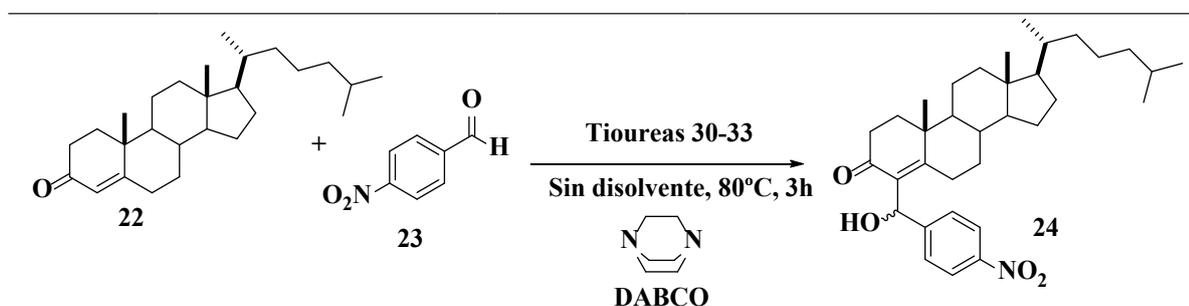


**Figura 11.** Obtención de los compuestos 30-33.

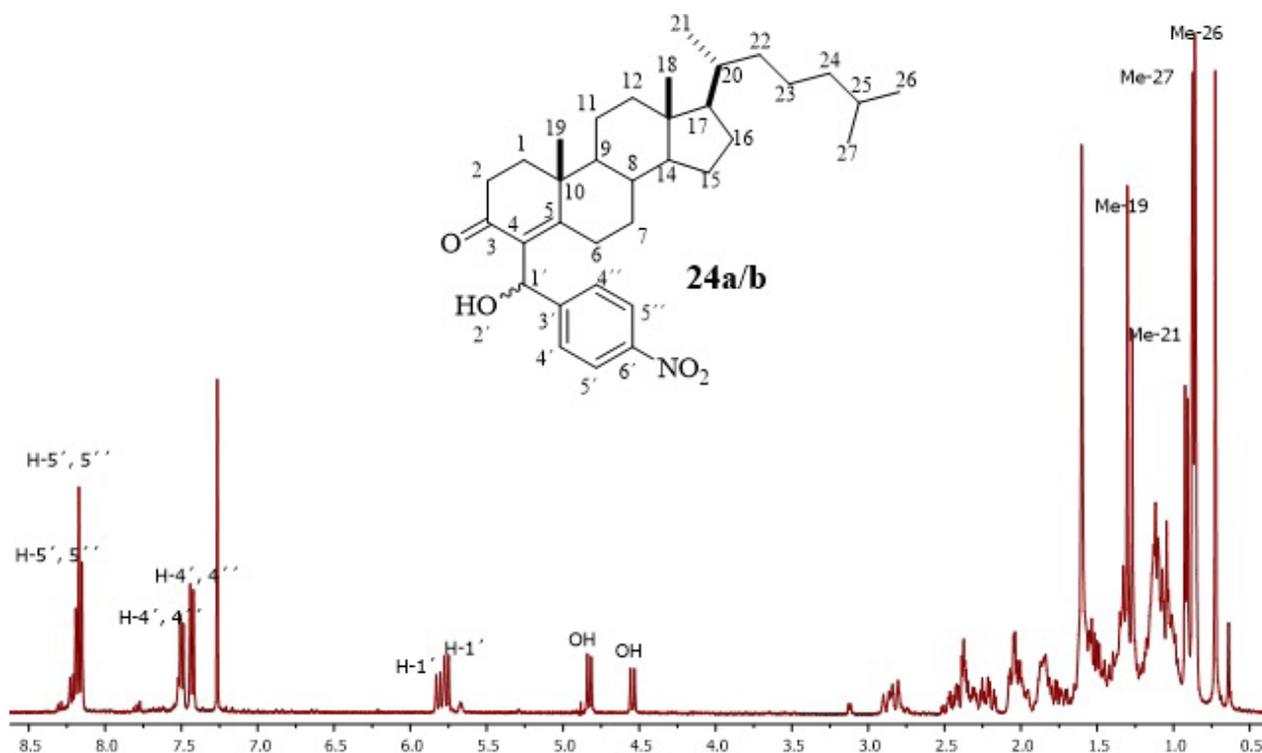
En la Tabla 4 se muestran los datos obtenidos observando nuevamente la formación del producto **24** en rendimientos pobres de 8 y 10 %.

Por otra parte, en el espectro de RMN de hidrógeno encontramos que los catalizadores no arrojan cambios significativos en términos de la diastereoselectividad de la reacción. En la Figura 12 se muestra el espectro de RMN de hidrógeno del producto de la reacción.

**Tabla 4**  
Ensayos con catalizadores asimétricos.



Ensayo	Catalizador	Tiempo (h)	Producto	Rendimiento %
1		4	109	Trazas
2		4	109	8
3		4	109	10
4		4	109	Trazas



**Figura 12.** Espectro de RMN de <sup>1</sup>H (400 MHz) de **24a/b** en CDCl<sub>3</sub>

## Conclusiones

Se obtuvieron los primeros resultados sobre el uso organocatalítico de las tioureas en la reacción de MBH, además del aislamiento y caracterización estructural mediante técnicas espectroscópicas de los diastereómeros del nuevo compuesto **24**. Se continúa trabajando sobre la modificación de las condiciones de reacción, utilizando el reactor de microondas, con el interés de incrementar los rendimientos de la reacción.

## Agradecimientos

Agradecemos a la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y al CONACYT (Número de proyecto 286638), por el financiamiento para realizar este trabajo.

## Referencias

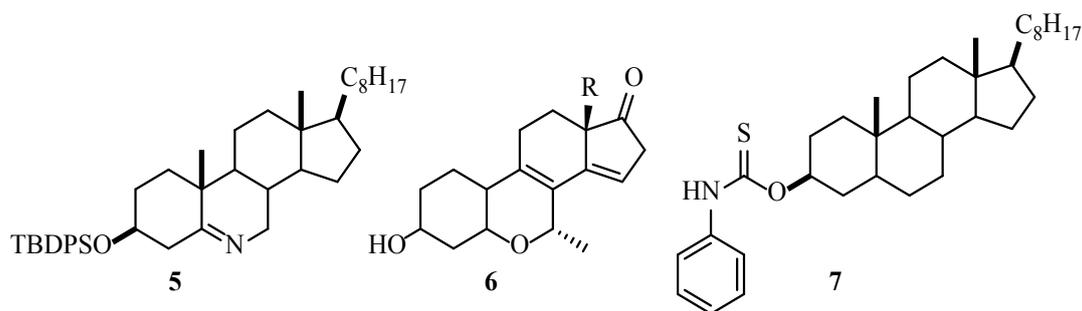
- Aleman, J. y Cabrera, S. (2013). Applications of asymmetric organocatalysis in medicinal chemistry, *Chemical Society Reviews*, 42, 774-793.
- Dessole, G., Herrera, R.P. y Ricci, A. (2004). H-Bonding Organocatalysed Friedel-Crafts Alkylation of Aromatic and Heteroaromatic Systems with Nitroolefins, *Synlett*, (13), 2374-2378.
- Flores Abad, D. (2019). *Reactividad de sistemas esteroideos frente a la adición de compuestos heterocíclicos* [Tesis de Maestría], Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas.
- MacMillan, D. (2008). The advent and development of organocatalysis, *Nature*, 455, 304-308.
- Rivas-Loaiza, J. A., Reyes-Escobedo, C. E., López, Y., Rojas-Lima, S., García-Merinos, J.P. y López-Ruiz, H. (2018). (Thio)urea-catalyzed Friedel-Crafts Reaction: Synthesis of Bis(indolyl)-methanes, *Letters in Organic Chemistry*, 16(12), 959-968.
- Wittkopp, R. C. y Schreiner, P. R. (2013). Metal-Free, Noncovalent Catalysis of Diels-Alder Reactions by Neutral Hydrogen Bond Donors in Organic Solvents and in Water, *Chemistry A European Journal*, 9(2), 407-414.

## Síntesis y caracterización estructural de dos nuevos oxoesteroides de diosgenina

Cristhian Ovidio Pérez Gómez  
Juan Pablo García Merinos  
Rosa Elva Norma del Río Torres  
María Eugenia Ochoa Becerra  
Judit Araceli Aviña Verduzco  
Rosa Santillán Baca  
Yliana López Castro

### Introducción

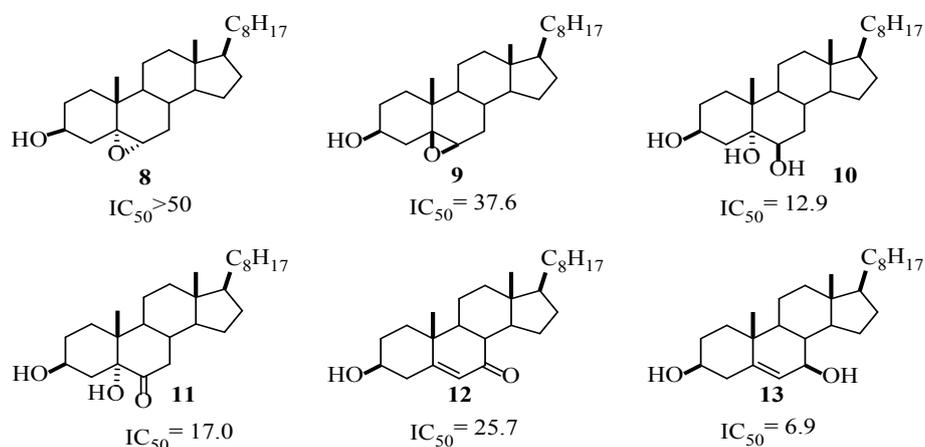
Los esteroides constituyen una clase de compuestos policíclicos que en su mayoría poseen un amplio rango de actividades biológicas, por lo que a menudo se utilizan en distintas presentaciones farmacéuticas para el tratamiento de diversas enfermedades (Biellmann, 2003). En este sentido, durante la síntesis de análogos de esteroides de origen natural biológicamente activos, la sustitución o introducción de un heteroátomo por uno o más átomos de carbono en su estructura, a menudo ha tenido éxito en la preparación de estos derivados (Kasal *et al.*, 2005), dando como resultado alteraciones de sus propiedades químicas y biológicas con frecuencia interesantes (Li *et al.*, 2013), algunos ejemplos de estos son los azaesteroides, oxoesteroides y tioesteroides (Figura 1) (Del Río *et al.*, 2013; López-Márquez, 2018).



**Figura 1.** Ejemplos de azaesteroides, oxoesteroides y tioesteroides.

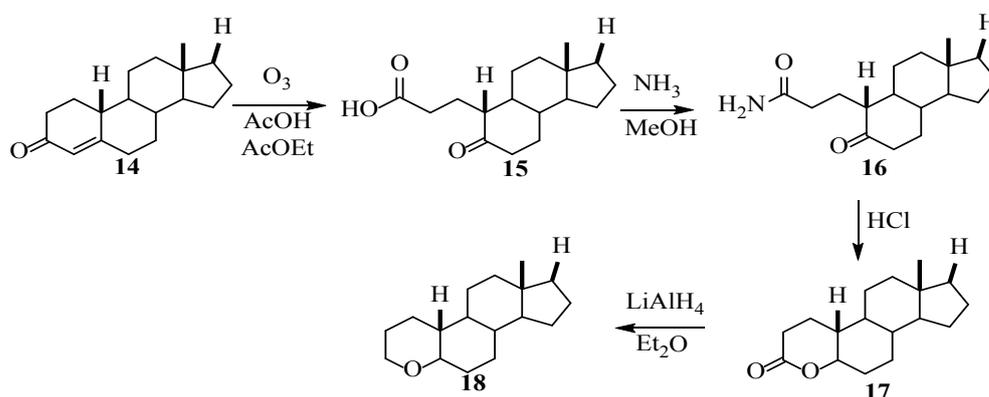
Los esteroides oxigenados participan en distintas funciones biológicas como la biosíntesis de ácidos biliares y hormonas esteroideas. Otros investigadores han demostrado que tienen una función reguladora en la meiosis (Brunel *et al.*, 2006). Además, se ha comprobado su actividad en el

tratamiento de enfermedades neurodegenerativas como Alzheimer, Parkinson y esclerosis múltiple, inclusive, otros reportes señalan que estos compuestos presentan actividad anticancerígena como lo demostraron Carvalho y colaboradores (2010) al reportar la capacidad para inhibir el crecimiento de células tumorales (HT-29) de algunos derivados oxigenados a partir del colesterol. Los compuestos con mejores resultados se presentan en la Figura 2.



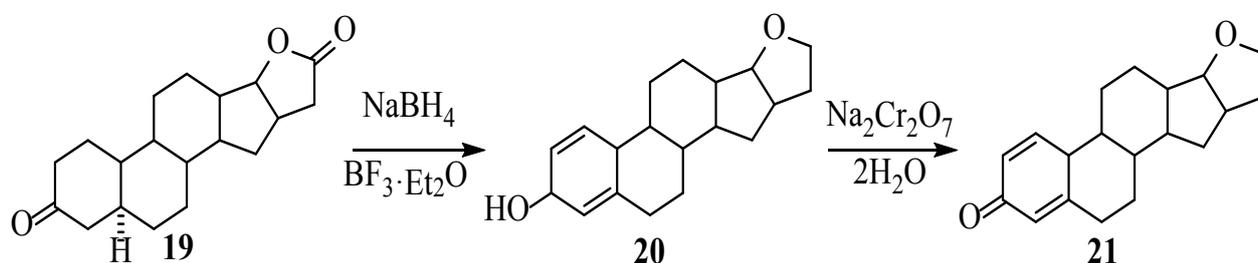
**Figura 2.** Oxoesteroides evaluados como inhibidores de células cancerosas.

La síntesis de éteres esteroidales ha sido poco explorada; sin embargo, uno de los primeros reportes data de 1965 cuando Edward y Ferland (1966) sintetizaron un éter esteroidal en cuatro etapas a partir del 3-oxoestra-4-eno (**14**). Esta metodología consistió en la apertura del anillo A, luego el sustrato se trató con amoníaco y HCl. Finalmente, el derivado **18** se obtuvo a partir de la reducción con  $\text{LiAlH}_4$  del compuesto **17** (Figura 3).



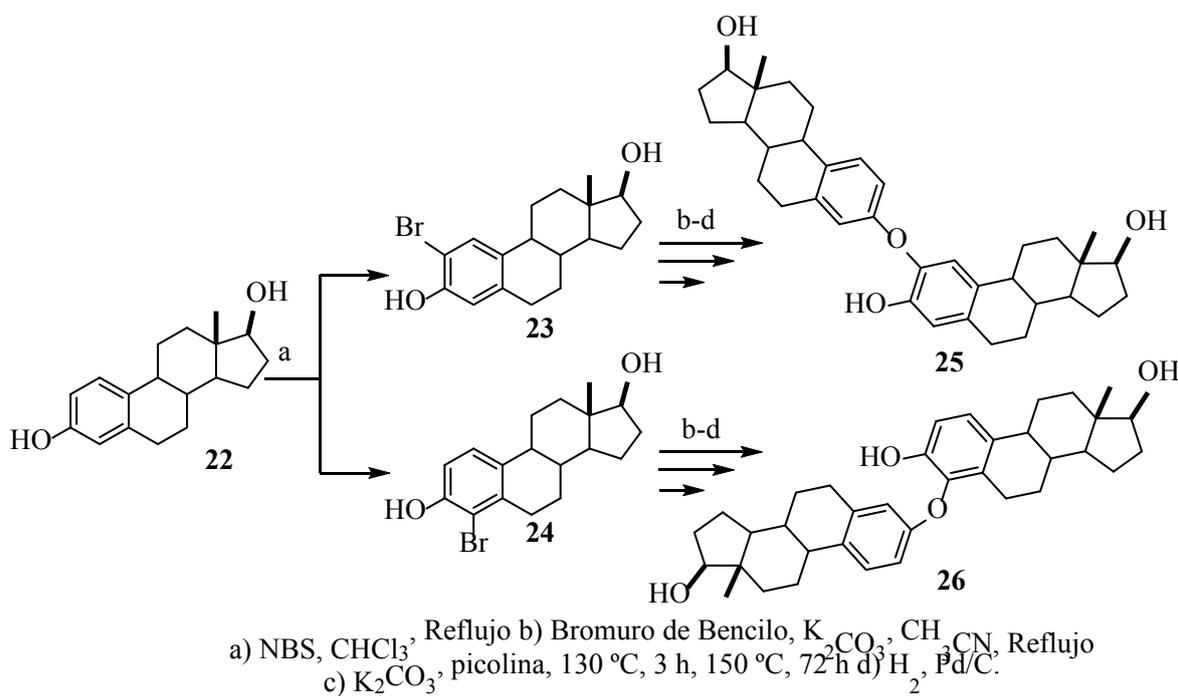
**Figura 3.** Síntesis del éter esteroidal **18** en el anillo A vía la enona **14**.

En 1968, Kurath y Oslapas prepararon una serie de éteres fusionados en el anillo D. Por tanto, la lactona **19** fue tratada bajo reducción con  $\text{NaBH}_4$  en  $\text{BF}_3 \cdot \text{Et}_2\text{O}$ , obteniendo el compuesto **20**. Para la síntesis del compuesto **21**, el éter **20** se oxidó con  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Figura 4). Los derivados **20** y **21** fueron probados para detectar efectos estrogénicos, antiestrogénicos y actividades androgénicas obteniendo resultados positivos.



**Figura 4.** Éteres esteroidales con actividad biológica **20** y **21**.

La función éter también ha sido empleada por el grupo de Zhu (2004) para la síntesis de los *bis*-esteroides **25** y **26**. El estradiol **22** se utilizó como material de partida; mediante cuatro etapas prepararon dos dímeros unidos a través de un enlace diaril éter, entre el oxígeno fenólico C-3 de una molécula de estradiol y el carbono aromático de la posición dos o cuatro de otro estradiol (Figura 5).



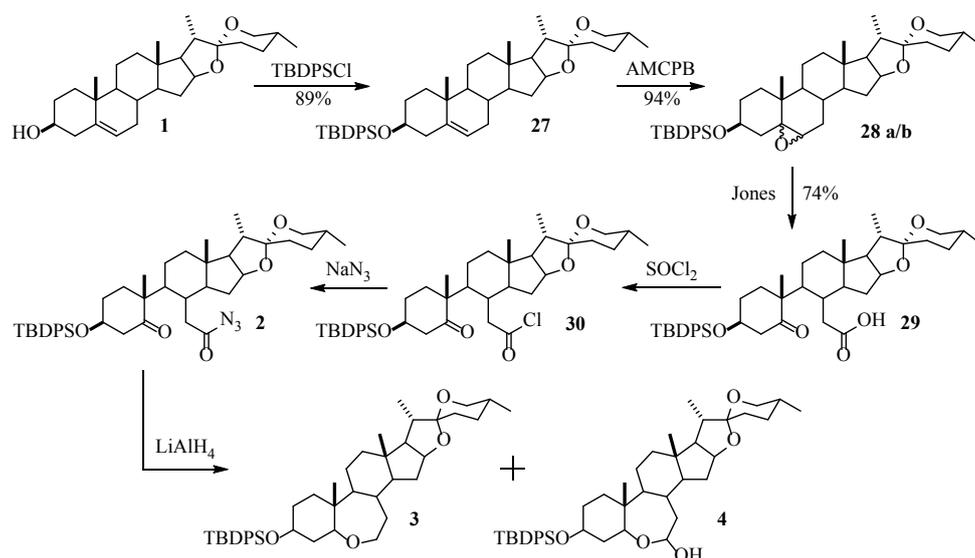
**Figura 5.** *Bis*-esteroides unidos a través de la función éter.

## Materiales y métodos

El seguimiento de las reacciones se llevó a cabo por medio de cromatografía en capa fina (CCF), la purificación de los compuestos se realizó utilizando columnas cromatográficas de distintos tamaños empacadas con gel de sílice (70-230 Mesh), empleando mezclas de hexano/AcOEt como eluyente. Los disolventes y reactivos utilizados fueron adquiridos de la casa comercial Aldrich. Los espectros de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) de  $^1\text{H}$  y  $^{13}\text{C}$  se determinaron en los espectrómetros Varian Mercury Plus 400 y JEOL ECA 500, utilizando cloroformo deuterado ( $\text{CDCl}_3$ ) como disolvente y tetrametilsilano (TMS) como referencia interna. Los desplazamientos químicos ( $\delta$ ) se expresan en partes por millón (ppm).

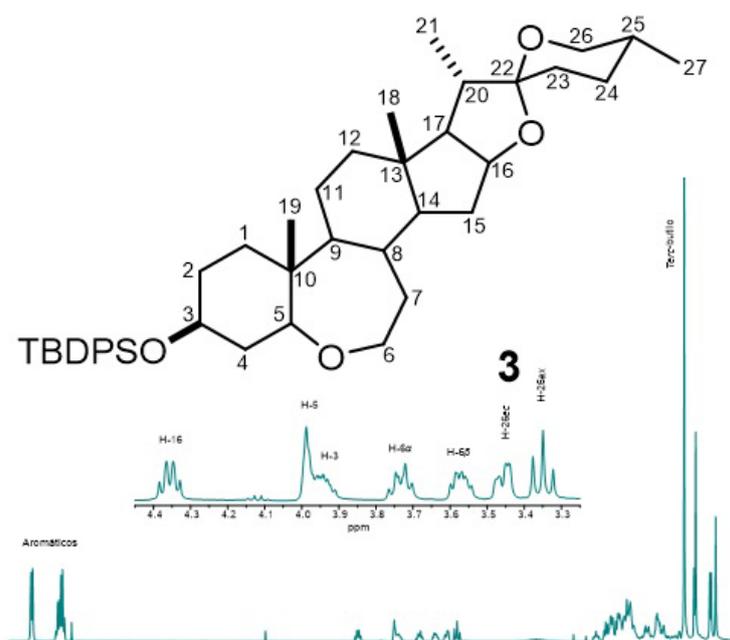
## Resultados y discusión

La síntesis de la acil-azida **2** se realizó mediante una serie de etapas consecutivas que inició con la protección del grupo hidroxilo en C-3 de la Diosgenina **1** con el cloruro de *tert*-butildifenilsilano (TBDPSCl) obteniendo el producto **27** en 89 % de rendimiento, posteriormente se realizó la oxidación del compuesto **27** con ácido *m*-cloroperbenzoico para obtener la mezcla de epóxidos  $\alpha/\beta$  **28a/b** en 94 % de rendimiento. El tratamiento con el reactivo de Jones de la mezcla de epóxidos **28a/b** dio como producto el *seco*-cetoácido **29** en un 74 % de rendimiento después de su purificación. El compuesto **29** se sometió a reaccionar con  $\text{SOCl}_2$  dando la formación del haluro de ácido **30** que, mediante el tratamiento con  $\text{NaN}_3$ , formó el compuesto **2** (Del Río *et al.*, 2007). Finalmente, la acil-azida **2** se trató con  $\text{LiAlH}_4$  para su reducción (López-Márquez, 2018) obteniendo los nuevos compuestos **3** y **4** de estructura interesante, conteniendo una anillación de tipo éter en el anillo B (Figura 6).



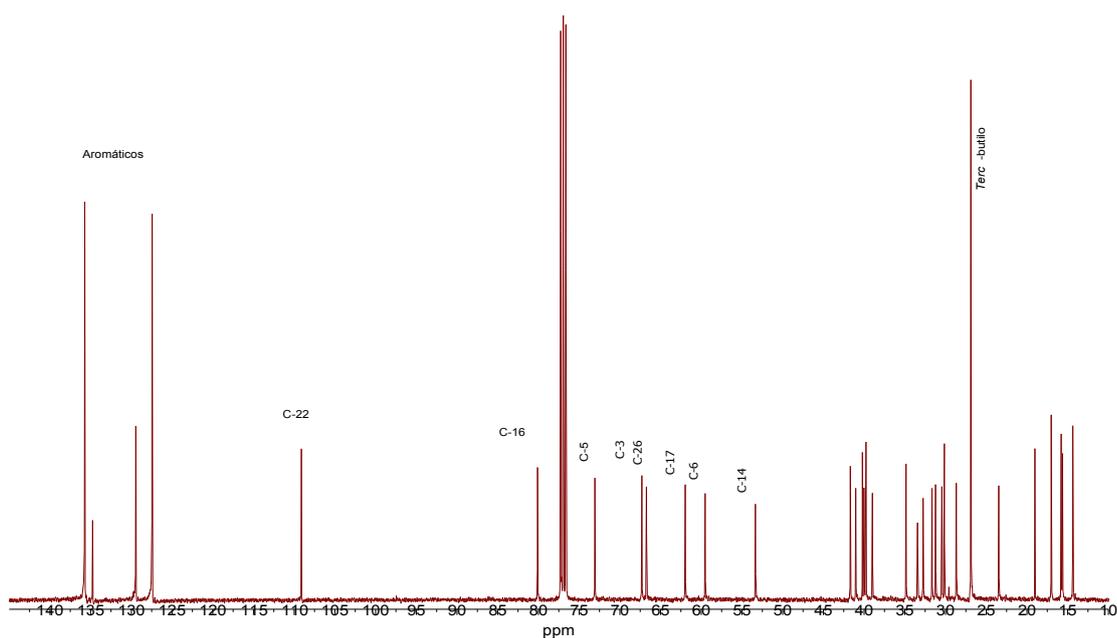
**Figura 6.** Síntesis general de los oxoesteroides **3** y **4**.

La caracterización estructural de los nuevos compuestos **3** y **4** se realizó mediante su análisis de RMN de una y dos dimensiones. En el espectro de  $^1\text{H}$  para el compuesto **3** (Figura 7), se realiza una ampliación del espectro de 4.45 a 3.25 ppm, donde se puede observar una señal doble en 3.98 ppm que se asignó al H-5. La señal múltiple que se encuentra en 3.94 ppm corresponde al H-3, mientras que las señales múltiples en 3.72 ppm y 3.57 ppm fueron asignadas a los H-6  $\alpha/\beta$ .



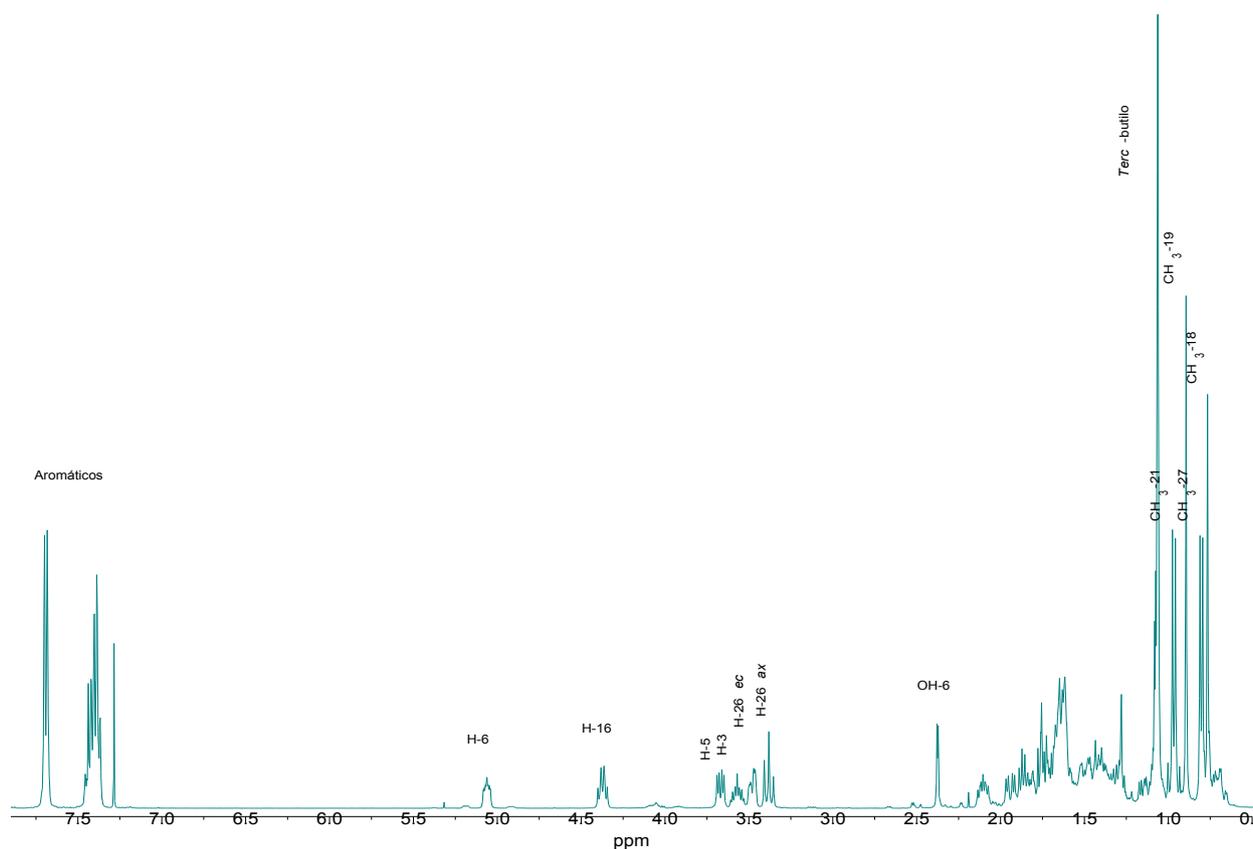
**Figura 7.** Espectro de RMN de  $^1\text{H}$  (400 MHz) en  $\text{CDCl}_3$  del compuesto **3**.

Por otra parte, en el espectro de  $^{13}\text{C}$  de **3** (Figura 8) se observan las señales del sistema aromático en el rango de 135.75 ppm a 127.44 ppm, así como la señal de los metilos en 26.99 ppm que confirman la presencia del grupo protector. Asimismo, la señal de la fusión espirocetálica en 109.1 ppm permanece sin cambios. La señal en 73.1 ppm corresponde al C-5, mientras que las señales que se encuentran en 67.4 ppm y 59.6 ppm se asignaron a los C-3 y C-6 para este compuesto.



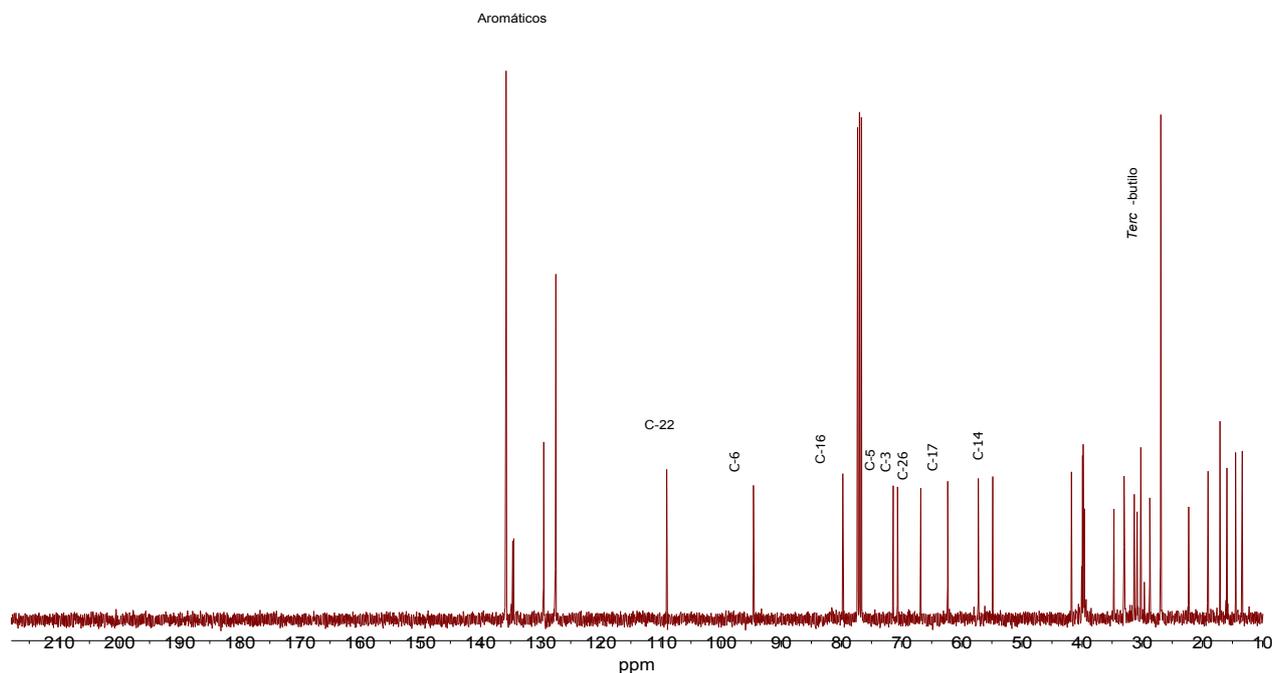
**Figura 8.** Espectro de RMN de  $^{13}\text{C}$  (100 MHz) en  $\text{CDCl}_3$  del compuesto **3**.

Por su parte, el compuesto **4** presenta ligeros cambios en su espectroscopia con respecto a **3**, por ejemplo, en la RMN de  $^1\text{H}$  (Figura 9) se observa una señal doble de doble en 5.06 ppm la cual se asignó a H-6, en 3.67 ppm una señal doble de dobles que fue asignada a H-5, mientras que la señal de H-3 en 3.57 ppm ahora se desplaza a frecuencias menores para este compuesto. Además, se observa una nueva señal en 2.38 ppm que fue asignada al hidrógeno del hidroxilo unido a C-6.



**Figura 9.** Espectro de RMN de  $^1\text{H}$  (400 MHz) en  $\text{CDCl}_3$  del compuesto **4**.

Para el caso del espectro de RMN de  $^{13}\text{C}$  del compuesto **4** (Figura 10), se aprecia la ausencia de las señales de carbonilo de C-5 y C-6 en 216.8 y 179.9 ppm respectivamente, ahora aparece una señal en 94.7 ppm que se asignó a C-6 base de oxígeno, en 71.4 ppm la señal de C-5 y en 70.7 ppm la señal de C-3. Cabe destacar que se continúa observando la señal de la fusión espirocetálica en 109.1 ppm.



**Figura 10.** Espectro de RMN de  $^{13}\text{C}$  (100 MHz) en  $\text{CDCl}_3$  del compuesto **4**.

## Conclusiones

Mediante una síntesis lineal de seis etapas, se obtuvieron los nuevos oxoesteroides **3** y **4** de estructura novedosa e inusual y de gran interés por su potencial aplicación en pruebas de actividad biológica. Se continúa trabajando en determinar la sustitución del hidroxilo en el carbono hemiacetalico del compuesto **4**.

## Agradecimientos

Agradecemos a la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y al CONACYT (Número de proyecto 286638), por el financiamiento para realizar este trabajo.

## Bibliografía

- Biellmann, J. F. (2003). Enantiomeric Steroids: Synthesis, Physical, and Biological Properties. Enantiomeric Steroids: Synthesis, Physical, and Biological Properties. *Chemical Reviews*, 103(5), 2019-2033. doi: 10.1021/cr020071b
- Brunel, J. M., Loncle, C., Vidal, N., Dherbomez, M. y Letourneux, Y. (2005). Synthesis and antifungal activity of oxygenated cholesterol derivatives. *Steroids*, 70(13), 907-912. doi: 10.1016/j.steroids.2005.06.007
- Carvalho, J. F., Cruz-Silva, M., Moreira, J., Simões, S. y Melo, L. (2010). Sterols as Anticancer Agents: Synthesis of Ring-B Oxygenated Steroids, Cytotoxic Profile, and Comprehensive SAR Analysis. *Journal of Medicinal Chemistry*, 53(21), 7632-7638. doi: 10.1021/jm1007769
- Del Río, R., Wang, B., Achab, S. y Bohe, L. (2007). Highly Enantioselective Oxidation of Sulfides to Sulfoxides by a New Oxaziridinium Salt. *Organic Letters*, 9(12), 2265-2268. doi: 10.1021/ol0702573
- Edward, J. T. y Ferland, J. M. (1966). Stereochemical studies: VI. Reactions of 3 $\beta$ -hydroxy-4-oxa-5 $\alpha$ -estrane and 3 $\alpha$ ,17 $\beta$ -dihydroxy-4-oxa-5 $\alpha$ -estrane. *Canadian Journal of Chemistry*, 44(11), 1299-1309. doi: 10.1139/v66-193
- Kasal, A., Matyás, L. y Budesinsky, M. (2005). Neurosteroid analogues: synthesis of 6-aza-allopregnanolone. *Tetrahedron*, 61(9), 2269-2278. doi: 10.1016/j.tet.2005.01.055
- Lee, A. J., Sowell, J., Cotham, W. E. y Zhu, B. T. (2004). Chemical synthesis of two novel diaryl ether dimers of estradiol-17 $\beta$ . *Steroids*, 69(1), 61-65. doi: 10.1016/j.steroids.2003.10.003
- Li, H., Guo, H. y Li, H. (2013). Cholesterol loading affects osteoblastic differentiation in mouse mesenchymal stem cells. *Steroids*, 78(4), 426-433. doi: 10.1016/j.steroids.2013.01.007
- López-Márquez I. F. (2018). *Nuevas modificaciones en el anillo B del colesterol* [Tesis de Maestría]. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Paul, K. y Raymond, O. (1969). Steroidal cyclic ethers. *Journal of Medicinal Chemistry*, 12(1), 5-8. doi: 10.1021/jm00301a002

## **Intercalación de moléculas orgánicas en una matriz inorgánica para la inhibición de bacterias**

Roberto Guerra González  
Alfonso Lemus Solorio  
Martha Angélica Lemus Solorio  
América Abisay Mondragón Herrera  
Roberto Daniel Iñaki Durán Baltazar  
Luis Ángel Cuiriz Melchor

### **Introducción**

Hoy en día existe una demanda incesante para lograr avances en el campo de la liberación controlada de moléculas biológica o químicamente activas y que son sensibles al ambiente. La incorporación o inmovilización de moléculas con actividad biológica dentro de matrices inorgánicas laminares permite su aislamiento del ambiente mejorando a la vez su estabilidad y almacenamiento a largo plazo. De esta forma, la estabilización de moléculas activas en materiales inorgánicos biocompatibles, constituye una ruta interesante para la preparación de materiales híbridos que posean tanto las ventajas de las propiedades del material inorgánico receptor como las del orgánico huésped en un mismo material. La posterior liberación de las especies activas, si es que esta se desea, se lleva a cabo por procesos sencillos de interacciones bipolares o de intercambio aniónico con iones presentes en el medio con el cual el material híbrido se pone en contacto. Aparte del problema del almacenamiento y estabilidad de las especies activas, podemos encontrar uno más ligado al proceso de liberación de las mismas. Un sistema de liberación ineficiente puede resultar en altas concentraciones del fármaco donde no se necesita, causando posibles efectos secundarios; o bien, en una rápida caída de la concentración del fármaco por debajo de los niveles deseados. Estos problemas pueden encontrar solución si se diseñan nuevos sistemas de administración y liberación controlada de los principios activos. Estos sistemas deberán proporcionar perfiles cinéticos en los cuales la concentración de la molécula permanezca en los niveles de concentración adecuados y durante un periodo de tiempo apropiado.

Para crear el sistema de liberación controlada se incorporó cierta cantidad de molécula orgánica en un soporte de material inorgánico (Theeuwes, 1975; Langer, 1980; Baker, 1987; Fassihi y Ritschel, 1993). Se espera que además de ser un sistema de liberación controlada de moléculas orgánicas, sea un sistema con actividad antibacterial.

### **Justificación**

El objetivo ideal de los sistemas de administración y liberación controlada de moléculas activas biológicamente, contempla dos aspectos importantes: la localización espacial y la liberación temporal o controlada de la molécula activa. La localización espacial se relaciona con el hecho de que

la molécula pueda alcanzar un órgano o tejido en específico; mientras que, la liberación controlada se refiere al control de la velocidad de liberación de la especie activa en el lugar donde se requiere. Estos dos aspectos no siempre pueden alcanzarse, por lo que, aún en numerosos casos, se necesitan avances en la investigación para poder proponer nuevos sistemas de administración y liberación controlada de moléculas activas. Para esto, siempre se tienen que tomar en consideración tanto al vehículo y la ruta de administración, como al objetivo (órgano o tejido) para proponer una estrategia que permita incrementar la eficiencia terapéutica y, en muchos casos, disminuir los efectos.

En la actualidad, de manera general, se busca que la terapia con medicamentos sea más eficaz procurando que estos sean colocados justo en el sitio adecuado para lograr así la respuesta farmacológica deseada sin ocasionar daños (Gardner, 1985). De esta forma, las condiciones para que la terapia con medicamentos sea adecuada, se requiere que el fármaco llegue al objetivo sin dañar otros órganos o tejidos y que haya una correcta cantidad del fármaco absorbido en el blanco. El conjunto de condiciones que favorecen el mejor aprovechamiento de los fármacos es llamado sistema de liberación controlada y está basado en la creación de nuevos sistemas que faciliten la administración, transporte y liberación del principio activo en el lugar adecuado.

## Objetivos

Sintetizar y caracterizar materiales híbridos biocompatibles inmovilizando moléculas con actividad antibacterial en matrices inorgánicas laminares a base de hidróxidos doble laminares, así como evaluar su actividad antibacterial contra la *Escherichia coli* (*E. coli*).

### Objetivos específicos

- Sintetizar los hidróxidos dobles laminares biocompatibles MgAl, ZnAl y MgAlFe de relación molar  $M^{2+}/M^{3+} = 2$ , por el método de coprecipitación de sales metálicas a baja sobresaturación o por el método de hidrólisis de urea, según el caso.
- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de los sólidos mediante técnicas de caracterización como la difracción de rayos-X, la espectroscopia de infrarrojo, el análisis termogravimétrico y la resonancia magnética nuclear (MAS RMN) de sólidos de los núcleos espectros  $^{27}\text{Al}$  y  $^{13}\text{C}$ .
- Obtener los materiales híbridos por intercalación de los aniones orgánicos provenientes de cefalexina sódica y de los ácidos nalidíxico y pipemídico en los hidróxidos dobles laminares.
- Caracterizar la interacción huésped-receptor en los materiales híbridos.
- Evaluar el desempeño de los materiales híbridos en la inhibición del crecimiento de cepas de *Escherichia coli* y *Salmonella typhi*.

## Antecedentes

En los últimos años la síntesis de nuevos materiales ha recibido una atención considerable, en particular los nanocompuestos portadores de ADN de péptidos y proteínas. En general, se trata normalmente de productos bioactivos. Dentro de los nanocompuestos de interés pueden considerarse los coloides, geles, copolímeros, medios porosos inorgánicos entre los que destacan los materiales laminares de la familia de las arcillas. De estos últimos, existen en gran variedad y pueden ofrecer características fisicoquímicas bien definidas como el área superficial específica, la porosidad y tanto el ordenamiento laminar, como el espacio interlaminar. Estos materiales tienen la capacidad de actuar como matrices inorgánicas receptoras de moléculas orgánicas de interés biológico y dar lugar a la formación de materiales híbridos interesantes (Oh *et al.*, 2009; Ryu *et al.*, 2010).

Dentro de la variedad de matrices inorgánicas laminares con características biocompatibles, podemos encontrar a los hidróxidos dobles laminares (HDL) comúnmente llamados materiales tipo hidrotalcita, que son materiales fáciles de sintetizar en el laboratorio y poseen una textura nano-organizada. Estos han sido estudiados principalmente para el campo biomédico porque ofrecen una lenta y adecuada liberación.

Los HDL se representan por la fórmula general  $[M^{II}_{1-x}M^{III}_x(OH)_2(A^{n-})_{n/x}] \cdot mH_2O$ , donde  $M^{II}$  y  $M^{III}$ , son cationes divalentes y trivalentes respectivamente,  $A^{n-}$  es el anión que reside en la región interlaminar. Su estructura cristalina deriva de la estructura laminar de la brucita  $Mg(OH)_2$ , en la cual el catión  $Mg^{2+}$  se encuentra coordinado octaédricamente a seis grupos hidroxilo. Estos octaedros están dispuestos de tal manera que comparten sus aristas formando láminas bidimensionales. Cuando en la brucita los iones  $Mg^{2+}$  se sustituyen por iones trivalentes con radios iónicos similares, como el  $Al^{3+}$ , se origina una carga positiva en la lámina. Esta carga total positiva se compensa por aniones como  $CO_3^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$ , etc., los cuales se posicionan en la región interlaminar donde también se encuentran moléculas de agua de cristalización.

Los aniones situados en la región interlaminar son móviles y pueden intercambiarse por otros de naturaleza distinta. Esta propiedad de los HDL se denomina intercambio iónico, y puede ser aprovechada para introducir y hospedar aniones inorgánicos, orgánicos o biomoléculas. Los sólidos así intercambiados (intercalados) pueden aplicarse en campos muy diversos como la catálisis, el almacenamiento y liberación de fármacos, y en la protección del medio ambiente. Cabe señalar que estos materiales se volvieron interesantes para la administración y liberación controlada de fármacos a partir de que Choi y colaboradores lograron la intercalación de DNA en la región interlaminar de una hidrotalcita MgAl.

En la literatura existen distintos métodos mediante los cuales se puede llevar a cabo la intercalación de distintos aniones en la región interlaminar de un HDL. Estos métodos están basados en propiedades particulares inherentes a los HDL como es el efecto memoria.

El primer método se basa en la propiedad de efecto memoria, el cual está basado en un proceso de destrucción/reconstrucción de la estructura laminar del HDL provocado por un tratamiento térmico durante el cual ocurren los siguientes procesos: a temperaturas menores a 150 °C se observa una pérdida de moléculas de agua absorbidas físicamente sin que exista modificación de la estructura laminar. Entre 300 y 500 °C tiene lugar la deshidroxilación de las láminas de hidróxido y la pérdida de los aniones interlaminares. Esto último trae consigo el colapso del arreglo laminar, provocando la aparición de una solución sólida de  $Mg(Al)O$  llamada óxido mixto si la temperatura no excede los 600 °C. Si este óxido mixto se pone en contacto con una solución que contenga anio-

nes, este recobrará su estructura laminar original y en la región interlaminar residirán los aniones contenidos en la solución. Esta capacidad de los HDL de reconstruir la estructura laminar recibe el nombre de efecto memoria. Esta propiedad es muy útil cuando se quiere intercalar un anión diferente al original, sobre todo en el caso de aniones orgánicos de gran tamaño.

El segundo método es el intercambio iónico. Los aniones alojados en el espacio interlaminar se pueden intercambiar con relativa facilidad. Miyata (1983) reportó una escala de afinidad para la intercalación de los aniones, aniones divalentes:  $\text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$ , aniones monovalentes:  $\text{OH}^- > \text{F}^- > \text{Cl}^- > \text{Br}^- > \text{NO}_3^- > \text{I}^-$ . Basados en esta afinidad, se pueden encontrar dos formas de llevar a cabo el intercambio. La primera es partiendo de un HDL con algún anión con poca afinidad, se coloca en una solución que contenga el anión orgánico a un pH adecuado, logrando el desplazamiento del anión poco afín. Dada la gran afinidad de los HDL por el anión carbonato, si el anión inicialmente presente en el material es justamente este, será muy difícil poder intercambiarlo por otra especie. Por ello, para este tipo de procesos se prefiere diseñar una síntesis del material de manera que contenga inicialmente un anión poco afín con este para poder desplazarlo fácilmente. Sin embargo, si el sólido inicial contiene iones carbonato en su región interlaminar, sí es posible desplazar los iones carbonato pero no por intercambio iónico como tal, sino por titulación de estos con una solución de HCl, de esta manera, después del proceso los iones  $\text{Cl}^-$  residirán en la región interlaminar. Para estos procesos de intercambio se prefiere que los aniones iniciales sean nitratos o, en su defecto, cloruros, posteriormente se intercambia directamente el anión orgánico teniendo especial precaución en excluir del proceso al  $\text{CO}_2$  ambiente que, por afinidad, puede intercalarse en forma de carbonato, por ello, en ocasiones es necesario mantener una atmósfera inerte.

Esta afinidad tiene una influencia directa sobre las propiedades del intercambio aniónico de los HDL. Los aniones divalentes son más afines con el espacio interlaminar (Miyata, 1983) que los cationes monovalentes, es decir, es fácil reemplazar aniones monovalentes inicialmente presentes en la región interlaminar por aniones divalentes.

Un tercer método está basado en el momento de la síntesis del HDL por coprecipitación. Los iones metálicos  $\text{M}^{2+}$  y  $\text{M}^{3+}$  se precipitan con una solución básica en presencia de un exceso del anión orgánico a intercalar y manteniendo un pH adecuado. Naturalmente, en muchas ocasiones se debe mantener una atmósfera inerte.

Finalmente, por alguno de estos métodos descritos es posible preparar materiales híbridos basados en una matriz inorgánica laminar proporcionada por los HDL y moléculas orgánicas de interés desde el punto de vista biológico. Los diferentes materiales híbridos propuestos tienen la finalidad de evitar algunos efectos secundarios, o bien, disminuir o eliminar las adversas propiedades fisicoquímicas de algunos medicamentos, como el mal olor, su baja solubilidad, su alta volatilidad, la descomposición bajo irradiación, agua, oxígeno, etc.

En la literatura se reportan algunos trabajos relacionados con este tipo de materiales híbridos. Particularmente, se han intercalado antiinflamatorios no esteroideos, moléculas anti-radiación UV con aplicación como protectores solares, antioxidantes y antibacteriales. En este último caso, las propiedades antibacteriales del material híbrido no fueron evaluadas.

No existe aplicación alguna en cuanto a la preparación de materiales híbridos a base de HDL y moléculas antibacteriales con su respectiva evaluación, en particular en la inhibición de *Escherichia coli* (*E. coli*) y la *Salmonella typhi*. Sin embargo, para estas bacterias se ha estudiado la inhibición con nanopartículas de plata soportadas en zeolitas.

La *E. coli* y la *Salmonella typhi* son bacterias que se encuentran presentes en algunos medios nutritivos, principalmente provenientes de las aguas de riego. La *E. coli* puede causar algunas enfermedades en los humanos entre las que destacan la diarrea y la disentería; mientras que la *Salmonella typhi* es responsable de enfermedades sistémicas graves como la fiebre tifoidea. Estas bacterias pueden eliminarse por distintos antibacteriales cuyas eficiencias dependen de sus propiedades fisicoquímicas.

## Metodología

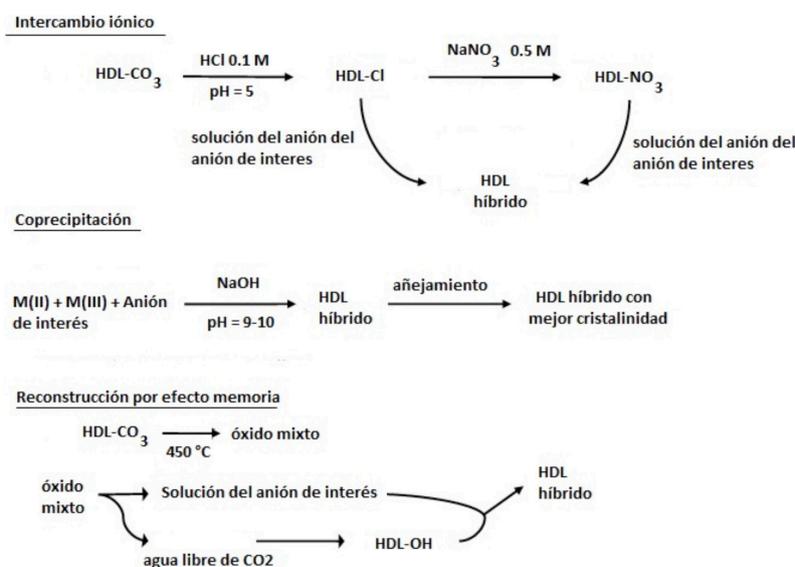
### *Síntesis de los hidróxidos dobles laminares*

Los sólidos de  $MgAl-NO_3$  y  $MgAlFe-NO_3$  serán sintetizados por el método de coprecipitación a baja sobresaturación de sales metálicas reportado en la literatura. De manera general, una solución de las sales metálicas (nitratos) de Mg y Al con la relación molar deseada y otra conteniendo la base KOH que realiza la precipitación, se agregan simultáneamente en a un matraz que contiene agua desionizada. Las velocidades de adición se regulan durante toda la adición de manera de mantener el pH constante. Con el propósito de homogeneizar los tamaños de cristal y permitir su crecimiento, al final de la adición el precipitado obtenido se añeja manteniéndolo en agitación vigorosa a 80 °C durante 18 h.

Los sólidos de  $ZnAl-NO_3$  serán sintetizados por el método de urea. Los cationes  $Zn^{2+}$  y  $Al^{3+}$  precipitan en forma de HDL gracias a la hidrólisis de urea a 90 °C a partir de una solución de nitratos de Zn y Al durante 10 h. Para evitar la intercalación del  $CO_3^{2-}$  que proviene de la hidrólisis de la urea, se introduce un exceso de  $NH_4NO_3$  que proporciona iones  $NO_3^-$  en la solución.

### *Preparación de los materiales híbridos por intercalación*

Como ya se mencionó, una reacción de intercalación en los HDL puede llevarse a cabo por varias vías o por una sola dependiendo del sistema HDL/anión estudiado. En este trabajo se realizarán experimentos de intercalación para cada sistema HDL/anión hasta lograr la intercalación del anión deseada por alguna de las rutas mostradas en la estrategia ilustrada en la Figura 1.



**Figura 1.** Diferentes rutas de obtención de materiales híbridos a partir de hidróxidos dobles laminares.

*Caracterización fisicoquímica de los hidróxidos dobles laminares y materiales híbridos*

La caracterización estructural por difracción de rayos-X (XRD) se llevará a cabo en un difractómetro Philips XPERT PRO. Las muestras se analizarán en forma de polvo en un intervalo de 4-80 de  $2\theta$ . Los cambios estructurales y comportamiento térmico de los materiales híbridos se seguirán por análisis termogravimétrico, TGA. La termogravimetría es parte de un conjunto de análisis térmicos que han sido desarrollados para identificar y medir los cambios físicos y químicos que sufren los materiales cuando son expuestos a variaciones controladas de temperatura (Conesa Ferrer, 2000).

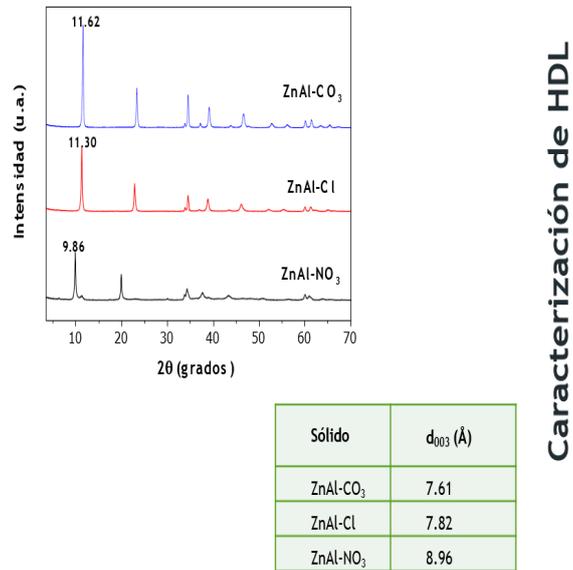
Específicamente, los análisis termogravimétricos han sido utilizados para el estudio de las reacciones primarias en la descomposición de materiales sólidos y líquidos. Con la termogravimetría se analizan procesos de desorción, adsorción y reacciones de descomposición en un ambiente de gas inerte o en presencia de oxígeno (Fraga Grueiro, 2001).

Los espectros de infrarrojo (FTIR) se obtendrán en un espectrofotómetro NICOLET MAGNA IR 750. La ventana de adquisición será de 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ ; la metodología utilizada para registrar los espectros será formando una pastilla mezclando la muestra con KBr en una relación de 1:100 p/p en una prensa. Finalmente, la caracterización estructural se profundizará por resonancia magnética nuclear de sólidos mediante la adquisición de los espectros  $^{27}\text{Al}$  y  $^{13}\text{C}$  MAS RMN con una sonda de 4 mm de un equipo Bruker Avance II que cuenta con un campo magnético de 9.4 Teslas.

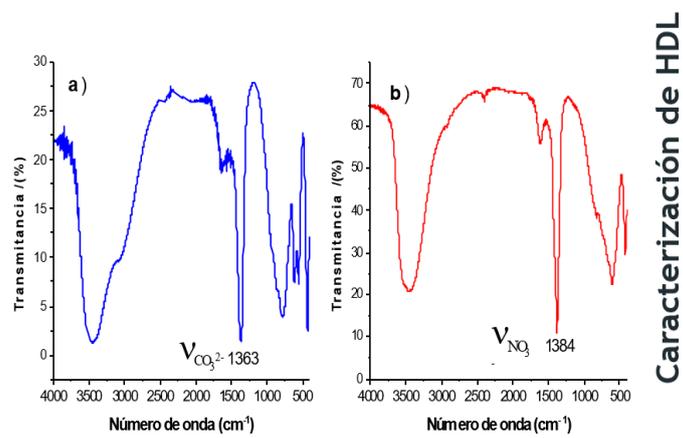
**Tabla 1**

Caracterización de los HDL e híbridos.

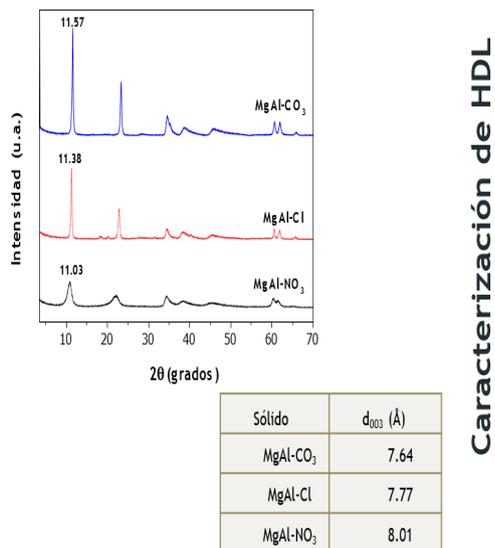
Difracción de rayos-X
3.4-80 ( $2\theta$ )
Espectroscopia de Infrarrojo
4000-400 $\text{cm}^{-1}$
Análisis termogravimétrico (TGA)
25-850 $^{\circ}\text{C}$
Caracterización de HDL



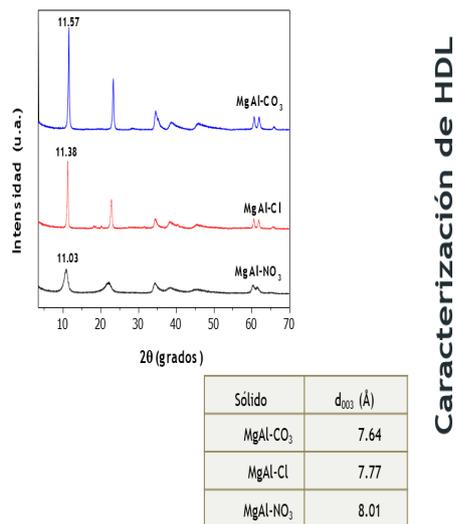
**Figura 2.** Diferentes rutas de obtención de materiales híbridos a partir de hidróxidos dobles laminares.



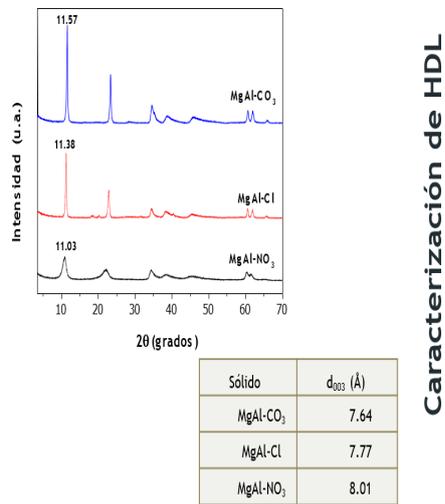
**Figura 3.** Diferentes rutas de obtención de materiales híbridos a partir de hidróxidos dobles laminares.



**Figura 4.** Diferentes rutas de obtención de materiales híbridos a partir de hidróxidos dobles laminares.

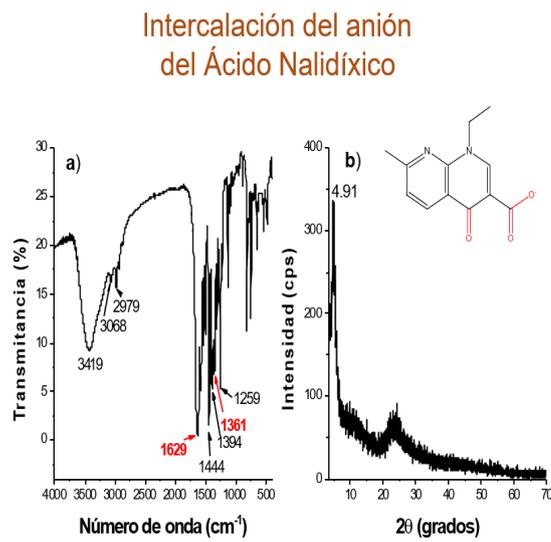


**Figura 5.** Diferentes rutas de obtención de materiales híbridos a partir de hidróxidos dobles laminares.



**Figura 6.** Diferentes rutas de obtención de materiales híbridos a partir de hidróxidos dobles laminares.

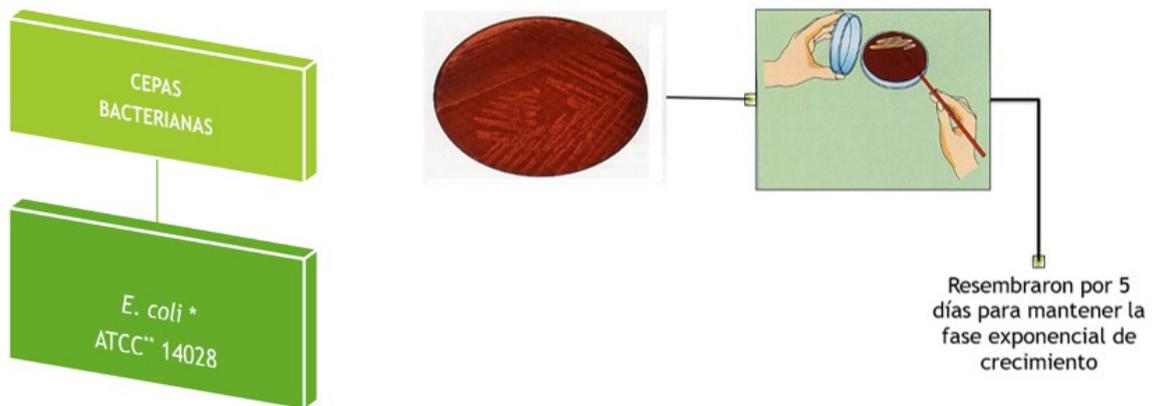
*Intercalación del anión del Ácido Nalidíxico*



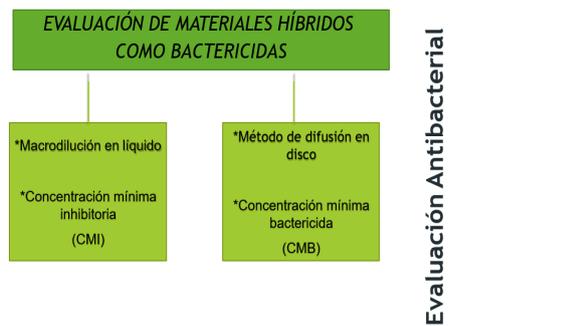
**Figura 7.** Diferentes rutas de obtención de materiales híbridos a partir de hidróxidos dobles laminares.

## Evaluación de la actividad antibacterial

Las bacterias *E. coli* y *Salmonella typhi* se adquirirán en el Laboratorio de la Secretaría de Salud Pública del Estado de Michoacán. El cultivo inicial de dichas cepas se realizará por incubación en caldo de tripticaseína durante 24 h. La velocidad de crecimiento bacteriano se determinará por conteo del número de colonias sobrevivientes en un agar conveniente. Se inocularán 18 mL de medio de tripticaseína fresco con el cultivo inicial, y se estudiará el crecimiento 35 °C en agitación continua a 30 rpm y se agregarán diferentes cantidades de material híbrido conteniendo diferentes antibacteriales. Se contará el número de colonias en función del tiempo.

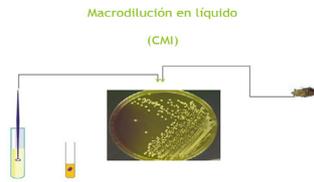


**Figura 8.** Diferentes rutas de obtención de materiales híbridos a partir de hidróxidos dobles laminares.



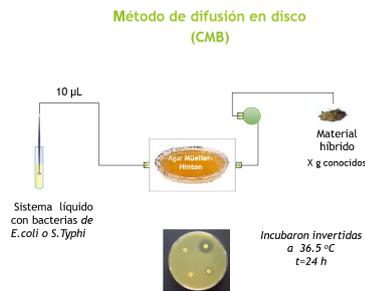
Macrodilución en líquido (CMI)

# Evaluación de materiales como bactericidas



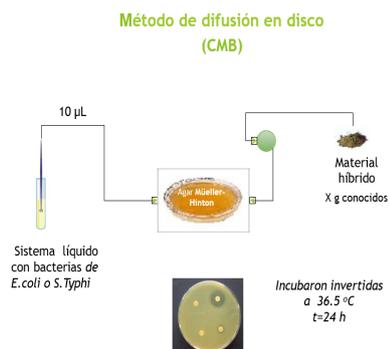
EVALUACIÓN DE MATERIALES COMO BACTERICIDAS

Método de difusión en disco (CMB).



EVALUACIÓN DE MATERIALES COMO BACTERICIDAS

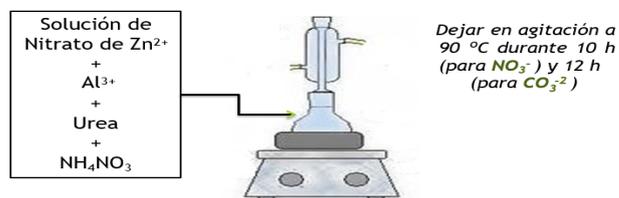
Método de difusión en disco (CMB).



EVALUACIÓN DE MATERIALES COMO BACTERICIDAS

Síntesis de Materiales Híbridos.

Caracterización fisicoquímica de los hidróxidos dobles laminares y materiales híbridos.



*Síntesis de Materiales Híbridos. Caracterización fisicoquímica de los hidróxidos dobles laminares y materiales híbridos.*

## Resultados de Evaluación Antibacterial, *E. coli*.

**Tabla 2**

Caracterización de los HDL e híbridos.

Fármaco	CMI (mg/mL)					
	0.11	0.17	0.22	0.27	0.33	0.38
Cloxacilina Sódica	+	+	+	+	+	-
Cefalexina Sódica	+	+	+	+	-	-
Ampicilina Sódica	+	+	+	+	-	-
MgAl-Ampicilina	+	+	+	+	-	-
Acido Nalidíxico	+	+	+	-	-	-
Acido Pipemídico	+	+	+	-	-	-

**Tabla 3**

Caracterización de los HDL e híbridos.

Fármaco	CMB (mg/mL)					
	0.11	0.17	0.22	0.27	0.33	0.38
Cloxacilina Sódica	+	+	+	-	-	-
Cefalexina Sódica	+	+	+	+	-	-
Ampicilina Sódica	+	+	+	+	-	-
MgAl-Ampicilina	+	+	+	+	-	-
Acido Nalidíxico	+	+	+	-	-	-
Acido Pipemídico	+	+	+	-	-	-

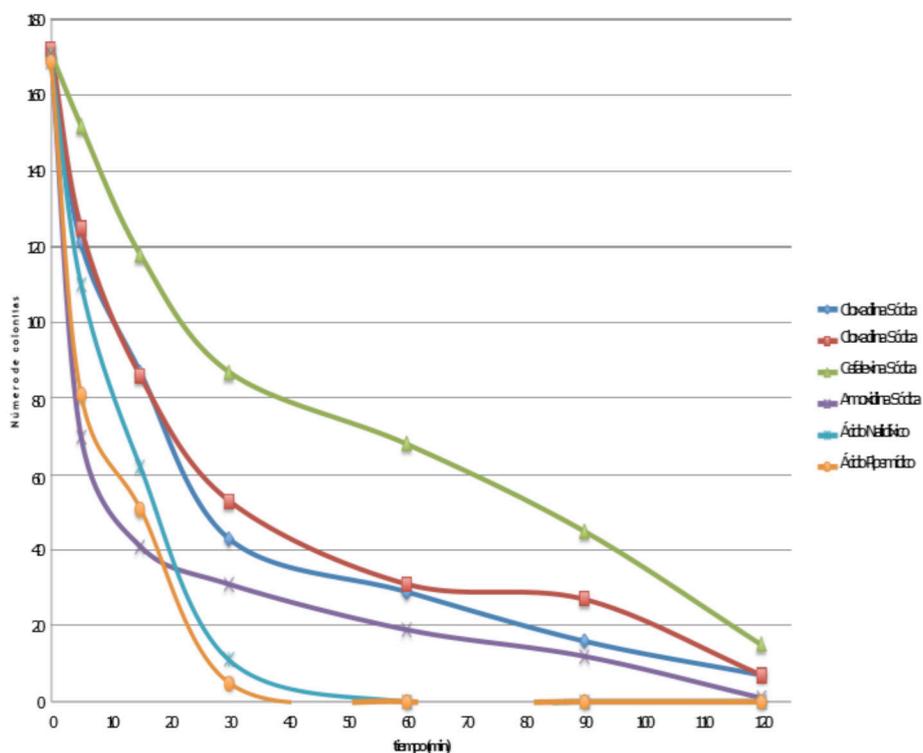
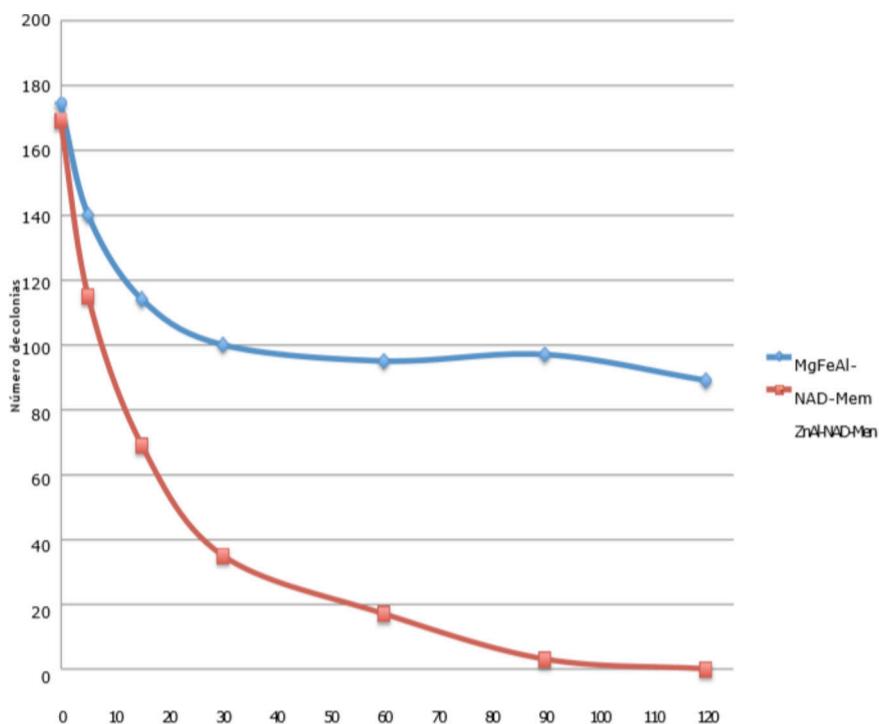


Figura 9. Diferentes rutas de obtención de materiales híbridos a partir de hidróxidos dobles laminares.

Tabla 4. Caracterización de los HDL e híbridos.

tiempo (min)	E. Coli				
	MgFeAl-NAD-Mem				
	E1	E2	E3	PROMEDIO	INCERTIDUMBRE
0	173	176	175	174	1
5	138	140	143	140	2
15	119	113	111	114	3
30	102	100	98	100	2
60	95	94	96	95	1
90	97	96	98	97	1
120	90	89	88	89	1
tiempo (min)	E. Coli				
	ZnAl-NAD-Men				
				PROMEDIO	INCERTIDUMBRE
0	169	170	168	169	1
5	112	120	115	115	3
15	66	71	72	69	3
30	35	32	38	35	3
60	18	15	19	17	2
90	2	3	5	3	1
120	0	0	0	0	0

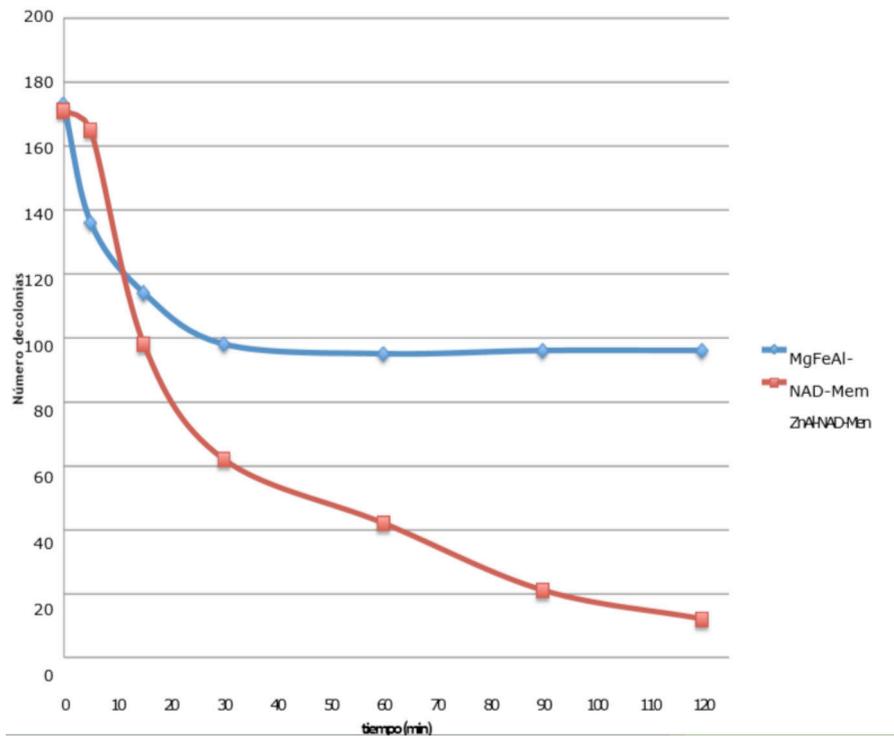


**Figura 10.** Diferentes rutas de obtención de materiales híbridos a partir de hidróxidos dobles laminares.

**Tabla 5**

Caracterización de los HDL e híbridos.

tiempo (min)	E. Coli R1				
	MgFeAl-NAD-Mem				
	E1	E2	E3	PROMEDIO	INCERTIDUMBRE
0	172	175	173	173	1
5	138	135	136	136	1
15	116	115	113	114	1
30	98	99	97	98	1
60	97	96	94	95	1
90	98	96	96	96	0
120	96	97	95	96	1
tiempo (min)	E. Coli R1				
	ZnAl-NAD-Mem				
				PROMEDIO	INCERTIDUMBRE
0	173	169	171	171	2
5	161	162	172	165	4
15	95	99	101	98	3
30	65	62	60	62	2
60	44	42	41	42	1
90	22	21	21	21	0
120	10	12	14	12	2

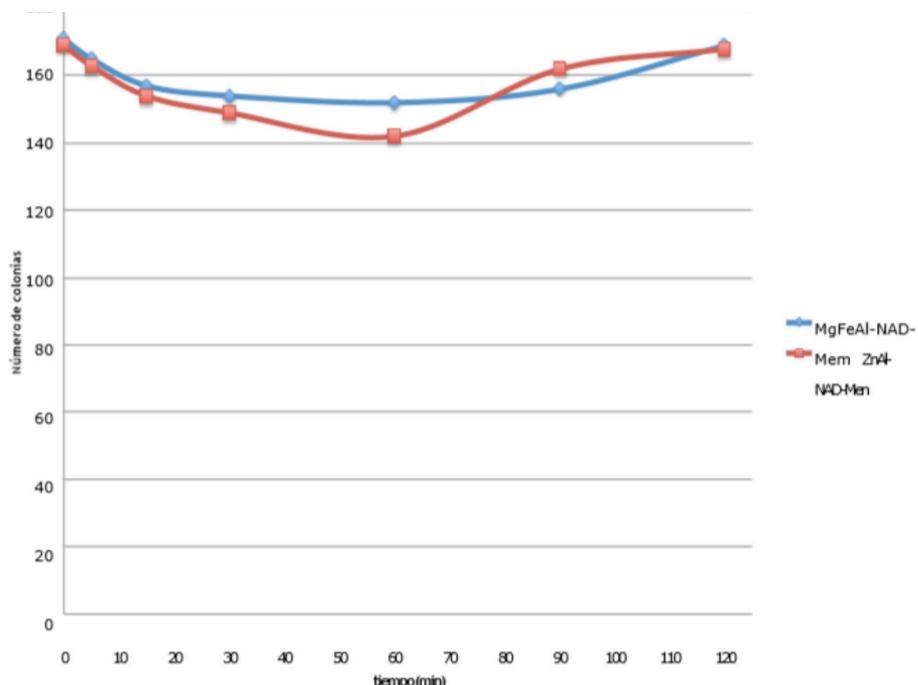


**Figura 11.** Diferentes rutas de obtención de materiales híbridos a partir de hidróxidos dobles laminares.

**Tabla 6**

Caracterización de los HDL e híbridos.

tiempo (min)	E. Coli R2				
	MgFeAl-NAD-Mem				
	E1	E2	E3	PROMEDIO	INCERTIDUMBRE
0	173	169	171	171	2
5	161	162	172	165	4
15	158	157	157	157	0
30	154	155	153	154	1
60	152	151	153	152	1
90	156	158	155	156	1
120	167	169	172	169	2
tiempo (min)	E. Coli R2				
	ZnAl-NAD-Mem				
				PROMEDIO	INCERTIDUMBRE
0	169	170	168	169	1
5	163	165	162	163	1
15	156	153	155	154	1
30	149	150	149	149	0
60	142	143	141	142	1
90	158	165	163	162	4
120	165	171	168	168	3



**Figura 12.** Diferentes rutas de obtención de materiales híbridos a partir de hidróxidos dobles laminares.

## Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos, el HDL ZnAl- NADmem presenta una liberación controlada, ya que al exponer el material tres veces frente a las bacterias de *E.Coli*, este continuaba presentando eliminación de bacterias, presentando un efecto bacteriostático en la tercera exposición, ya que no eliminó bacterias.

El material ZnAl-NADmem obtenido por efecto memoria, es un material laminar y muy cristalino pero con un grado de intercalación muy bajo, lo cual hasta cierto punto es una ventaja porque no se requiere de mucho antibiótico para que presente buena actividad antibacterial, esto se debe a un efecto sinérgico entre la matriz inorgánica y el antibiótico.

El HDL MgFeAl-NADmem también presenta buena actividad antibacterial; sin embargo, su síntesis representa un mayor costo con respecto al ZnAl-NADmem.

En general, sobre los sistemas híbridos analizados la actividad antibacteriana no siempre es función directa de la cantidad de antibiótico intercalado. Parece ser que la actividad depende justamente del sistema matriz inorgánica- antibiótico estudiado.

De lo anterior, surge la idea de que existe, en algunos sistemas, un efecto sinérgico entre la matriz inorgánica y el antibiótico que resulta en un sistema de inhibición eficiente.

## Bibliografía

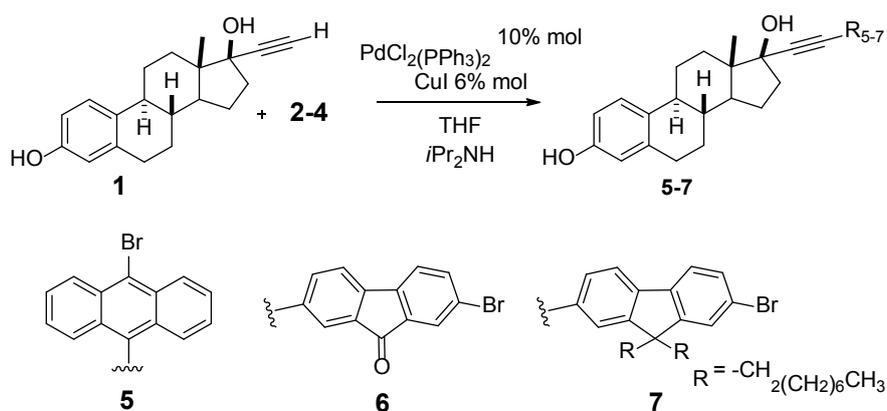
- Brocker, F.J. y Kainer, L. Patente Alemana 2.024.282 1970, BASF AG, y Patente Británica 1.342.020 1971, BASF AG.
- Carlino, S. (1997). The intercalation of carboxylic acids into layered double hydroxides: A critical evaluation and review of different methods. *Solid State Ionics*, 98(1-2), 73-84.
- Choudary, B., Kavita, B., Chowdari, N., Sreedhar, B. y Kantam, M. (2002). Layered double hydroxides containing chiral organic guests: Synthesis, characterization and application for asymmetric C-C bond-forming reactions. *Catalysis Letters*, 78(1), 373-377.
- Feitknecht, P. (1942). *Helv. Chim. Acta*, 25, 555.
- French, D., Schifano, P., Cortés, J. y Hargrove, S. (2010). Li-Al layered double hydroxides as catalysts for the synthesis of flavanone. *Catalysis Communications*, 12(2), 92-92.
- Jamhour, R. M. (2005). Preparation and Characterization of Hybrid Organic-Inorganic Composite Material: Polymerization of m-Aminobenzoic Acid-Intercalated Into Zn/Al-Layered Double Hydroxides. *American Journal of Applied Sciences*, 2(6), 1028-1031.
- Manasse, E. (1915). *Atti. Soc. Toscana Sc. Nat, Proc. Verb.*, 24, 92.
- McIntyre, L. (2009). *Synthesis and characterization of layered double hydroxyl anion exchange materials* [Tesis de Doctorado], University of Liverpool.
- Nakagaki, S., Halma, M., Bail, A., Arízaga, G. G. C. y Wypych, F. (2005). First insight into catalytic activity of anionic iron porphyrins immobilized on exfoliated layered double hydroxides. *J. Colloid Interface Sci.*, 281(2), 417-423.
- Rojas, R., Linck, Y. G., Cuffini, S. L., Monti, G. y Giacomelli C. E. (2015). Structural and physicochemical aspects of drug release from layered double hydroxides and layered hydroxide salts. *Applied Clay Science*, 109-110, 119-126.
- Sáez, V., Hernández, E. y Sanz, L. (2002). Sistema de liberación controlada de medicamentos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 3(3), 1-16.
- Sarakha, L., Forano, C. y Boutinaud, P. (2009). Intercalation of luminescent Europium(III) complexes in layered double hydroxides. *Optical Materials*, 31(3), 562-566.
- Svenson, S. y Tomalia, D. (2005). Dendrimers in biomedical applications - reflections on the field. *Adv Drug Deliver Rev.*, 57, 2106-2129.
- Tichit, D., Bennani, M. N., Figueras, F. y Ruiz J.R. (1998). *Langmuir*, 14, 2086.
- Valente, J., Figueras, F., Gravelle, M., Kumbhar, P., López, J. y Besse, J. (2000). Basic properties of the mixed oxides obtained by thermal decomposition of hydrotalcites containing different metallic compositions. *Journal of Catalysis*, 189(2), 370-381.
- Xu, Z. y Zeng, H. (2001). Decomposition pathways of hydrotalcite-like compounds  $Mg_{1-x}Al_x(OH)_2(NO_3)_x \cdot nH_2O$  as a continuous function of nitrate anions. *Chem. Mater.*, 13(12), 4564-4572.

## Síntesis de nuevos derivados de etinilestradiol con propiedades luminiscentes

Vianey Alejandra Mendoza Juárez  
 Juan Luis Cortes Muñoz  
 Juan Pablo García Merinos  
 Gabriela Rodríguez García  
 Rosa Elva Norma del Río Torres  
 Rosa Santillán Baca  
 Yliana López Castro

### Introducción

Actualmente la síntesis de derivados de etinilestradiol ha tomado gran interés al tratar de conseguir una mayor afinidad por los receptores estrogénicos. En este sentido, diversas metodologías para la modificación estructural de este compuesto han sido documentadas en los últimos años, por lo cual, en el presente trabajo se describe la síntesis y caracterización de nuevos derivados del etinilestradiol obtenidos a partir de la reacción de acoplamiento cruzado de Sonogashira (Esquema 1). Los compuestos **5** y **6** resultaron ser de interés debido a que presentan las longitudes de absorción máxima con respecto a **7**, así como fluorescencia en solución.



**2** = 9,10-dibromoantraceno

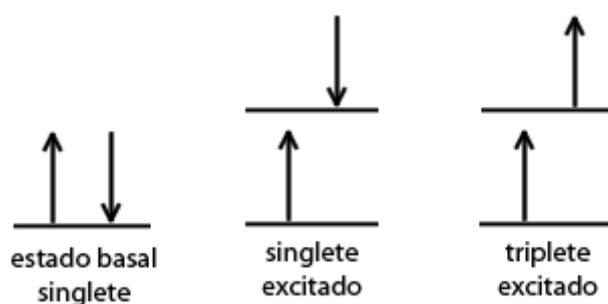
**3** = 2,7-dibromo-9-fluorenona

**4** = 9,9-dioctil-2,7-dibromofluoreno

**Esquema 1.** Reacción general del acoplamiento de Sonogashira.

La luminiscencia se define como la emisión espontánea de radiación de una especie electrónicamente excitada que no está en equilibrio térmico con su entorno. Los diversos tipos de luminiscencia se diferencian de acuerdo con el modo de excitación y, dentro de esta clasificación, se encuentran la termoluminiscencia, quimioluminiscencia, fotoluminiscencia, entre otras.

La fluorescencia y la fosforescencia son casos particulares de fotoluminiscencia. La fosforescencia es la emisión de luz a partir del estado de excitación triplete, en el cual el electrón en el orbital excitado tiene el mismo espín que el electrón del estado fundamental, mientras que, en la fluorescencia, en el estado de excitación singlete, el electrón del orbital excitado es apareado (por espín opuesto) con el segundo electrón en el orbital del estado basal (Figura 1).



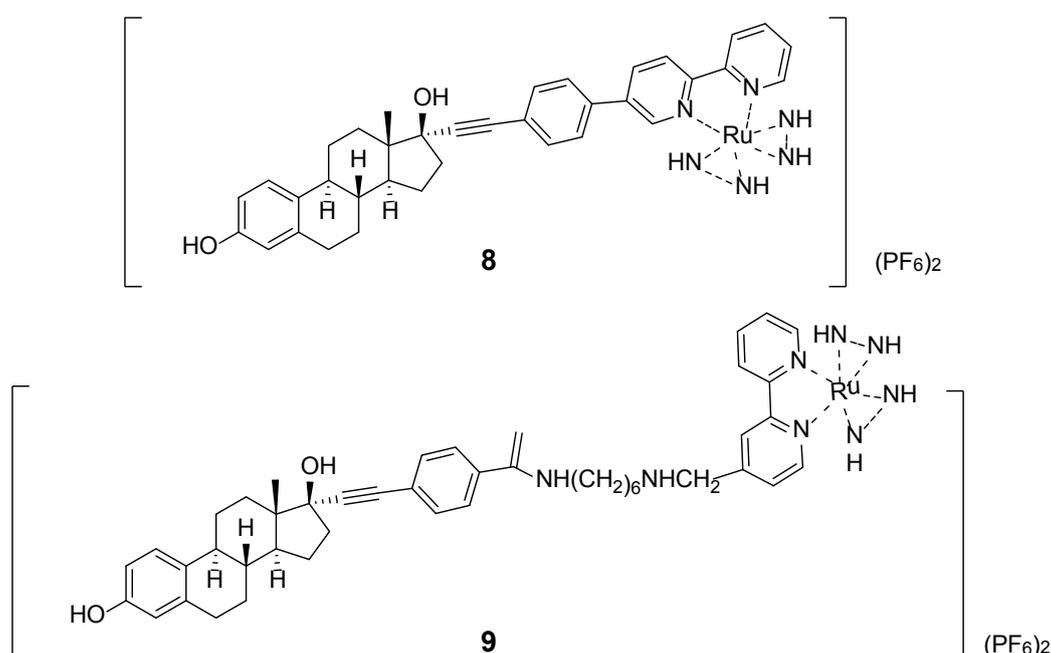
**Figura 1.** Representación gráfica de los spines en los orbitales en el estado fundamental y en el estado excitado.

Por otra parte, los estrógenos pueden ser de tres tipos: naturales, sintéticos y ambientales. Los naturales son una clase de hormonas sexuales esteroideas producidas por los ovarios y en glándulas suprarrenales (Pérez, 2015) que regulan varios eventos fisiológicos, como la maternidad, función cardiovascular, formación y remodelación del hueso, y funciones inmunológicas e inflamatorias, por dar algunos ejemplos. Estos compuestos se difunden a través de la membrana celular (Osati *et al.*, 2017) y son transportados a través de la sangre, y al unirse al receptor de estrógenos (ER) en el citoplasma, finalmente son transportados al núcleo de la célula (Jackson *et al.*, 2001), donde regulan los eventos celulares a través de interacciones específicas con receptores intracelulares que funcionan como factores de transcripción inducibles por el ligando.

Los tejidos ricos en receptores de estrógenos (ER) que incluyen muchos tipos de cáncer de mama, acumulan moléculas que tienen altas afinidades de unión para estos receptores. Por lo tanto, las moléculas con gran afinidad a los ER tienen propiedades de transporte celular favorable y contienen una segunda funcionalidad, ya que pueden usarse para la formación de imágenes de diagnóstico o terapia médica (Yaya, 2010), por lo que ha habido un gran interés en la síntesis de derivados de estradiol con una mayor afinidad de unión para el receptor de estrógenos (Arterburn, 2000).

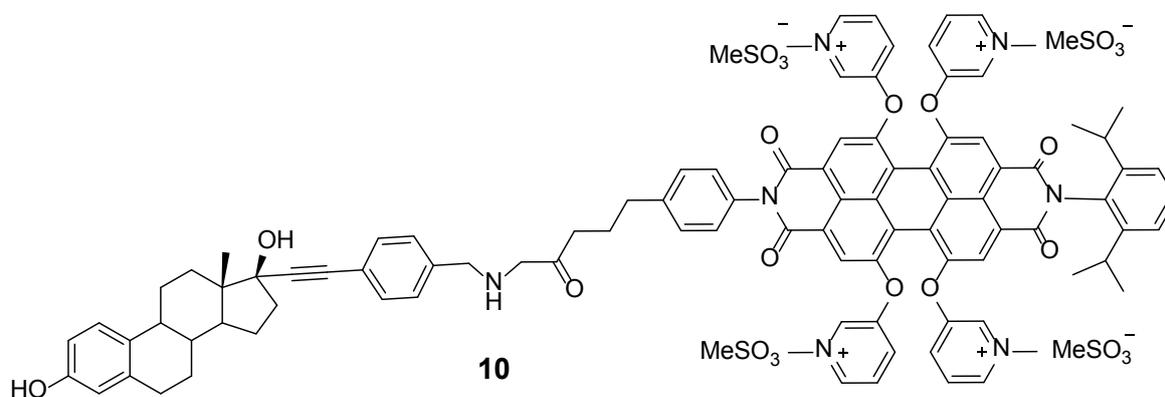
## Antecedentes

En 2008 se describió la síntesis de complejos de rutenio con etinilestradiol (EE2), siendo estos buenos candidatos para pruebas luminiscentes en imagen de células vivas ya que son compuestos fluorescentes y con baja citotoxicidad (Figura 20) (Lo *et al.*, 2008).



**Figura 2.** Estructuras de complejos de rutenio-estradiol.

Posteriormente, en 2011 Céspedes-Wirao y colaboradores reportaron la síntesis de un nuevo derivado estrogénico a bajo costo y altamente fluorescente con la perilenebisimida (PBI) soluble en agua. Este compuesto tiñe fuertemente las células positivas para receptores estrogénicos, mientras que las negativas solo están presentes en una coloración muy débil (Figura 22) (Céspedes *et al.*, 2011).



**Figura 3.** Conjugado PBI-estradiol.

Debido a la gran variedad de estructuras posibles de obtenerse a partir del etinilestradiol y de sus propiedades ya mencionadas, se deriva el gran interés en el estudio de la fluorescencia de estos compuestos esteroidales con posible aplicación como marcadores tumorales. Además, se sabe que el etinilestradiol posee una gran afinidad a los ER, y qué grupos moderadamente voluminosos pueden ser soportados sobre el alquino terminal 17. Con base en esto, en el presente trabajo se propone la obtención y caracterización estructural de nuevos derivados de etinilestradiol conteniendo sustituyentes en el alquino terminal 17.

## Objetivos

- Sintetizar y purificar los derivados del etinilestradiol **5-7** mediante la reacción de acoplamiento de Sonogashira.
- Caracterizar estructuralmente los compuestos **5-7** mediante métodos espectroscópicos y espectrométricos.
- Obtención de los espectros de absorción y fotoluminiscencia de los derivados **5-7**.

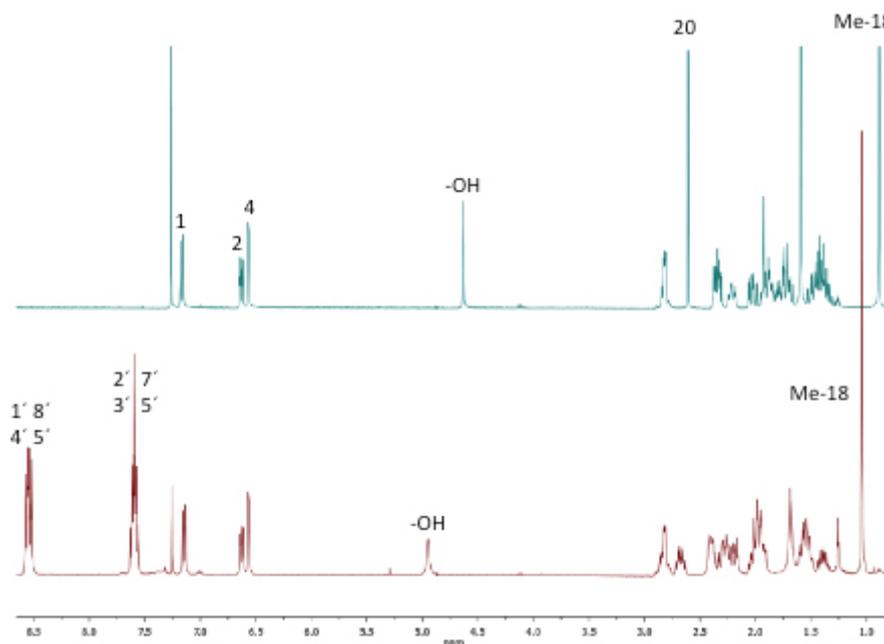
## Materiales y métodos

Los disolventes y reactivos fueron adquiridos de la casa comercial Aldrich. El seguimiento de las reacciones se llevó a cabo por medio de cromatografía en capa fina (CCF), la purificación de los compuestos se realizó utilizando columnas cromatográficas de distintos tamaños empacadas con gel de sílice (70-230 Mesh), empleando mezclas de hexano/AcOEt como eluyente. Finalmente, la asignación estructural inequívoca de los compuestos se realizó con ayuda de métodos espectroscópicos.

## Discusión de resultados

### Obtención del 17 $\alpha$ -(10'-bromoantraceniiletinil) estra-1,3,5(10)-trien-3,17 $\beta$ -diol (**5**)

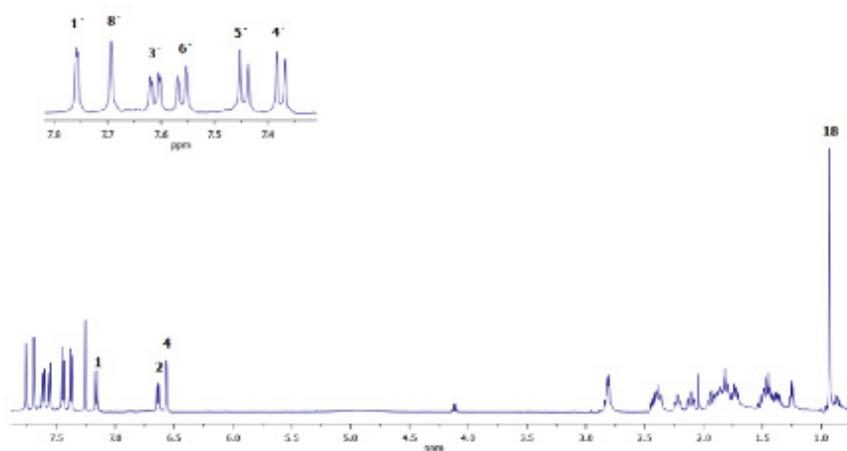
El etinilestradiol (**1**) y 9,10-dibromoantraceno (**2**), se hicieron reaccionar en las condiciones de Sonogashira mostradas en el Esquema 1. El compuesto **5** obtuvo un rendimiento del 59 % después de la purificación por cromatografía en columna. La asignación estructural se realizó por comparación con los datos espectroscópicos previamente reportados por el grupo de trabajo, y a manera de ejemplo, en la Figura 4 se muestra la comparación del espectro de hidrógeno de la materia prima **1** con el producto **5**. En el espectro existe la presencia de dos señales múltiples, una en 8.50 ppm que integró para cuatro hidrógenos asignada a H-1', H-4', H-5', H-8', y así también en 7.55 ppm se observó la otra señal múltiple que integró para cuatro hidrógenos asignada a H-2', H-3', H-6' y H-7'; este par de señales se asignaron a la fracción aromática del antraceno, y la ausencia de la señal simple en 2.6 ppm aproximadamente que corresponde al protón del alquino terminal del etinilestradiol, confirmó que se llevó a cabo el acoplamiento esperado.



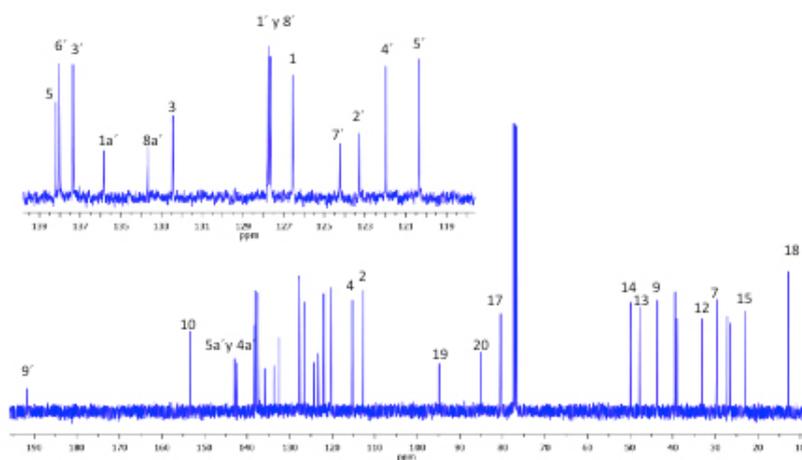
**Figura 4.** Espectro de RMN de  $^1\text{H}$  (400 MHz) del etinilestradiol **1** (superior) y el compuesto **5** (inferior) en  $\text{CDCl}_3$ .

### Obtención del 17 $\alpha$ -(7'-dibromo-9'-fluorenona etinil)estra-1,3,5(10)-trien-3,17 $\beta$ -diol (**6**)

Se hizo reaccionar el compuesto **1** con 2,7-dibromo-9-fluorenona (**3**) como se describió en la metodología para la obtención de **5**. El crudo de la reacción se purificó por columna cromatográfica para obtener **6** en un rendimiento del 41 %. El espectro de RMN de  $^1\text{H}$  de **6** se asignó con ayuda del experimento COSY, mientras que el espectro de RMN  $^{13}\text{C}$  (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ ) de **6** se asignó con ayuda de los experimentos HETCOR y DEPT.



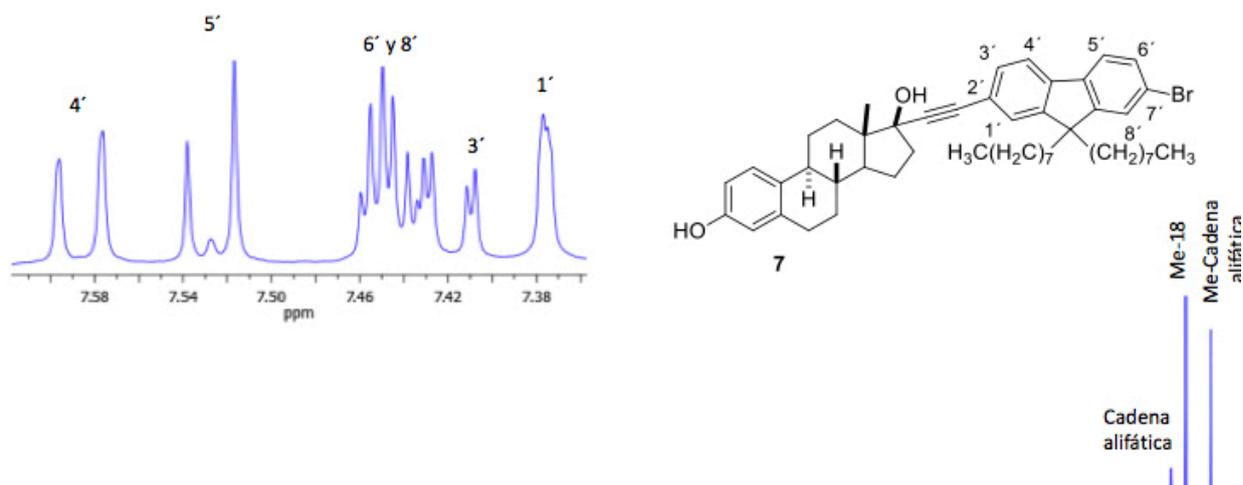
**Figura 5.** Espectro de RMN de  $^1\text{H}$  (400 MHz) del compuesto **6** en  $\text{CDCl}_3$



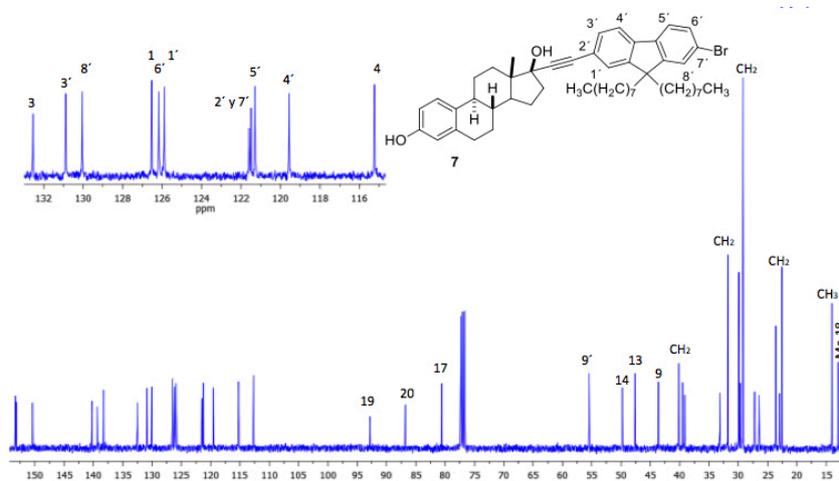
**Figura 6.** Espectro de RMN de  $^{13}\text{C}$  (100 MHz) del compuesto **6** en  $\text{CDCl}_3$

### Obtención del 17 $\alpha$ -(9',9'-dioctil,7'-dibromofluorenilfenil)estra-1,3,5(10)-trien-3,17 $\beta$ -diol (7)

El compuesto **1** se hizo reaccionar con 9,9-dioctil-2,7-dibromofluoreno (**4**) bajo las condiciones de reacción del Esquema 1, y la posterior purificación del crudo de reacción, permitió la obtención del producto **7** en un rendimiento del 48 %. Se emplearon experimentos de resonancia magnética nuclear en dos dimensiones para la asignación inequívoca de **7**. A manera de ejemplo, en las figuras 7 y 8 se muestran los espectros de RMN de  $^1\text{H}$  (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ ) y  $^{13}\text{C}$  (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ ).



**Figura 7.** Espectro de RMN de  $^1\text{H}$  (400 MHz) del compuesto **7** en  $\text{CDCl}_3$



**Figura 8.** Espectro de RMN de  $^{13}\text{C}$  (100 MHz) del compuesto **7** en  $\text{CDCl}_3$

Posteriormente se llevaron a cabo las mediciones de UV-Vis y fluorescencia de los compuestos **5-7**, los resultados de estos experimentos se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1**  
Datos de absorción UV-Vis y fluorescencia de los compuestos 5-7.

Compuesto	$\lambda_{\text{m}^\text{áx(Abs)}} [\text{nm}]$	$\epsilon_{\text{m}^\text{áx}} [\text{dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}]$	$\lambda_{\text{(em)}} [\text{nm}]$
<b>ETE (1)</b>	228	-	-
<b>ETE-antraceno (5)</b>	420	20241	478
<b>ETE-fluorenona (6)</b>	428	1174.2	537
<b>ETE-dioctilfluoreno (7)</b>	324	46591	-

## Conclusiones

Mediante el acoplamiento de Sonogashira fueron obtenidos los nuevos compuestos esteroidales **5-7**. Se realizaron las mediciones de UV-Vis y de fluorescencia correspondientes a los compuestos **5-7**, encontrando que los compuestos **5** y **6** presentan las longitudes de absorción máxima en comparación con **7**, así como fluorescencia en solución, indicando su potencial aplicación como marcadores fluorescentes. La estructura de los nuevos compuestos se asignó mediante RMN de una y dos dimensiones y otros métodos espectroscópicos.

## Agradecimientos

Agradecemos a la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y al CONACYT (Número de proyecto 286638), por el financiamiento para realizar este trabajo.

## Bibliografía

- Arterburn, J. B., Venkateswara, K. y Perry, M. C. (2000). Novel 17 $\alpha$ -ethynylestradiol derivatives: Sonogashira couplings using unprotected phenylhydrazines. *Tetrahedron Letters*, 41(6), 839-842.
- Céspedes, F.J., Roperó, A. B., Font-Sanchis, E., Nadal, A., Fernández, F. y Sastre, A. (2011). A water-soluble perylene-dye functionalised with a 17 $\beta$ -estradiol: a new fluorescent tool for steroid hormones. *Chemical Communications*, 47, 8307-8309.
- Jackson, A., Davis, J., Pither, R. J., Roger, A. y Hannon, M. J. (2001). Estrogen-Derived Steroidal Metal Complexes: Agents for Cellular Delivery of Metal Centers to Estrogen Receptor-Positive Cells. *Inorganic Chemistry*, 40(16), 3964-3973.
- Lo, K.K., Lee, T.K., Lau, J.S., Poon, W.L. y Cheng, S. (2008). *Inorganic Chemistry*, 47, 200-208.
- Osati, S., Ali, H., Marques, F., Paquette, M. Beaudoin, S., Guerin, B., Leyton, J. V. y van Lier J. E. (2017). BODIPY-17 $\alpha$ -ethynylestradiol conjugates: Synthesis, fluorescence properties and receptor binding affinities. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 27(3), 443-446.
- Pérez, R. L. y Escandar, G. M. (2015). Solid-surface fluorescent properties of estrogens: Green analytical applications. *Microchemical Journal*, 118, 141-149.
- Yaya, A. R., Touaibia, M., Massarweh, G., Rochon, F. D. y Breau, L. (2010). *Steroids*, 75(7), 489-498.

## **V. Química**

## Preparación de la semicarbazona del acetato de maturina y su reactividad frente a paladio(II)

Elizabeth Renteria Pineda  
Gabriela Rodríguez García  
Rosa Elva Norma del Río Torres  
Tzarara López Luke  
Mario Armando Gómez Hurtado

### Introducción

México está ubicado como el segundo país con el mayor número de plantas medicinales inventariadas con aproximadamente 4.500, únicamente después de China que cuenta con 5.000, según la Sociedad Latinoamericana de Medicina Natural y Tradicional. Además, alrededor de 4.000 especies de plantas con flores (aproximadamente 15 % de la flora total), tienen atributos medicinales, es decir, que una de cada siete especies posee alguna propiedad curativa (Ocegueda *et al.*, 2005).

Entre las plantas más importantes y utilizadas por la población mexicana se encuentra el «Matarique», llamada así por los indios Yaqui; usada para controlar el dolor. Actualmente, este nombre se usa para designar a un complejo de cuatro plantas: *Psacalium decompositum* Gray., *Psacalium sinuatum* Cerv., *Acourtia thurberi* Gray. y *Psacalium peltatum* H.B.K., las cuales además de emplearse para disminuir los dolores reumáticos, padecimientos gastrointestinales, renales y hepáticos, se usan principalmente en el control de la diabetes *mellitus* (Bello, 1993; Argueta *et al.*, 1994).

*Psacalium Peltatum* (Figura 1) pertenece a la familia Asteraceae, también se le conoce como *Cacalia peltata* HBK. y *Senecio peltiferus*. Hemsl., algunos de los nombres comunes en México son: maturi (mata dolor) y Tipejtsikua nanakeri (purépecha) (Manzanero, 2009).

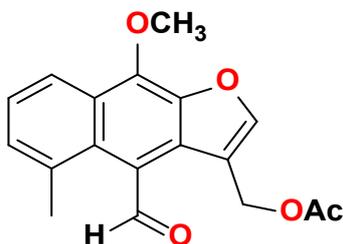


**Figura 1.** Fotografía de *Psacalium peltatum*.

De esta planta se han realizado varias investigaciones dirigidas a la evaluación de sus propiedades antidiabéticas. En estos estudios, se utilizaron la raíz y rizomas en decocción, pues es la forma en que la población la usa de manera empírica para el tratamiento de úlceras, fiebre, infecciones de la piel, enfermedades renales, como agente anticanceroso y antitumoral (Argueta *et al.*, 1994).

## Antecedentes

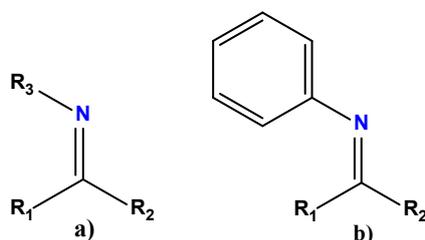
El acetato de maturina (1) (Figura 2) es uno de los metabolitos secundarios mayoritarios que se obtiene de las raíces de *Psacalium peltatum*, este compuesto fue aislado por primera vez de la especie africana *Senecio pterophorus* (Bohlmann *et al.*, 1977), también existen reportes en *Psacalium beamanii*, *Roldana angulifolia* y *Trichilia cuneata* (Pérez *et al.*, 2004). Es un terpeno y debido a que está constituido por 15 átomos de carbono, es considerado un sesquiterpeno. Los sesquiterpenos que contienen en su esqueleto base un sistema de decalina se conocen como eremofilanos, los cuales derivan biogénicamente de los eudesmanos por migración del grupo metilo en C-10 al carbono C-5 (Pinder, 1977). De este compuesto se han realizado estudios en modelos *in vivo* e *in vitro* para observar su actividad antiinflamatoria, así como la inducción de efectos inmuno estimulantes y, en ambos casos, demostró ejercer un importante efecto (Rojano *et al.*, 2013; Juárez *et al.*, 2013).



**Figura 2.** Estructura del acetato de maturina.

Además de contener un anillo de furano, contiene un metoxilo en la posición C-9, un acetato en C-13 y un aldehído en la posición C-6. Aprovechando esta última función, en nuestro grupo de trabajo se han preparado derivados a partir de 1 para formar bases de Schiff, entre ellas, las respectivas semicarbazona (2) y tiosemicarbazona (3) (Figura 6) (Vidal, 2017), lo que abre el panorama para realizar nuevos estudios sobre la reactividad de estos compuestos novedosos.

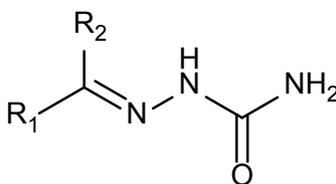
Una base de Schiff (o azometino), nombrado así en honor a Hugo Schiff, es un grupo funcional que contiene un enlace doble carbono-nitrógeno con el átomo de nitrógeno conectado a un grupo arilo o alquilo, pero sin hidrógeno. Las bases de Schiff tienen la fórmula general  $R_1R_2C=N-R_3$ , donde  $R_3$  es un grupo arilo o alquilo lo que hace que la base de Schiff sea una imina estable. Una base de Schiff derivada de una anilina, donde  $R_3$  es un fenilo o fenilo sustituido que puede ser denominado anil (Figura 3) (Ruíz, 2018).



**Figura 3.** Estructura general de una base de Schiff (a) y un anil (b).

Estos compuestos pueden generarse a partir de aminas primarias y aldehídos o cetonas, para producir las respectivas iminas, las cuales se han distinguido por presentar una interesante gama de actividades biológicas que incluyen la antifúngica, antibacteriana, antipalúdicas, antiproliferativa, antiinflamatoria, antiviral, antipiréticas, entre otras (Perentena *et al.*, 2015). La actividad biológica de esta variedad de compuestos puede advertirse tras observar su participación como intermediarios en diversas rutas biológicas (McMurry, 2008).

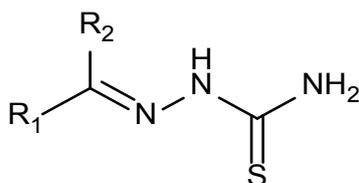
Las semicarbazonas (Figura 4) son un grupo de iminas que se preparan a partir de compuestos carbonílicos (aldehídos y cetonas) e hidroclouros de semicarbazida. Estas se utilizan generalmente en pruebas de identificación para grupos funcionales de tipo carbonílico; sin embargo, el interés que ha despertado la versatilidad de esta familia de compuestos orgánicos, ha crecido en las últimas décadas, sobre todo en el ámbito de la química de coordinación debido a las propiedades biológicas que presentan estos compuestos como son las antimicrobianas, anticonvulsiantes, antituberculosas, antitumorales e hipnóticos, también son empleados como herbicidas y pesticidas (Balboa *et al.*, 2007).



**Figura 4.** Estructura general de una semicarbazona.

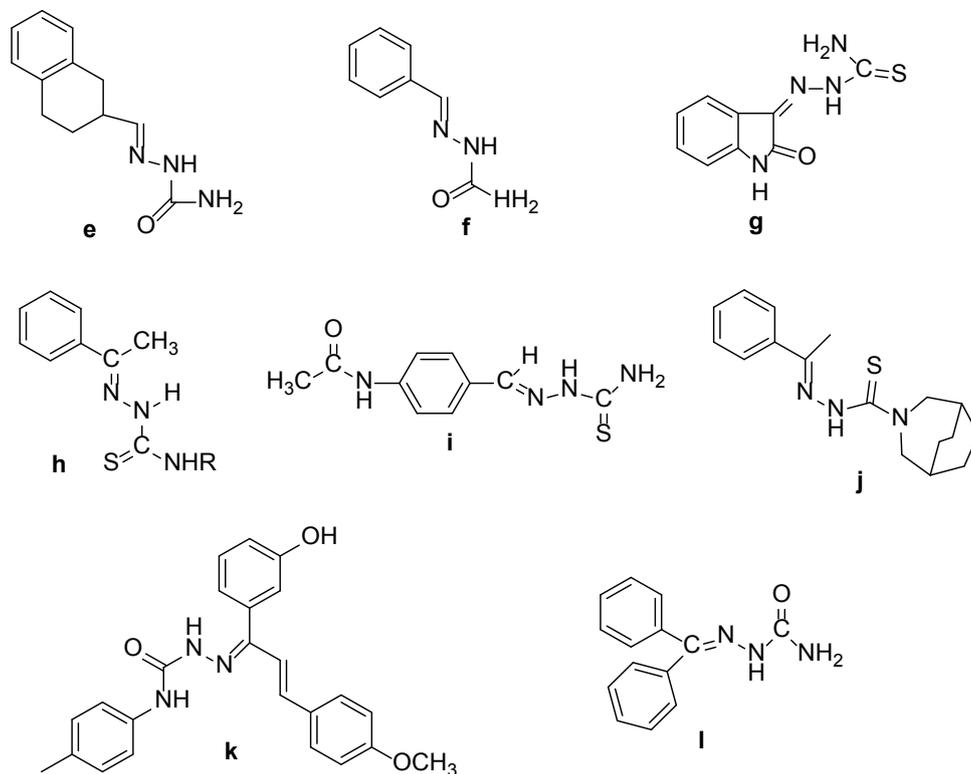
Otro tipo de compuestos que también son estudiados por su semejanza estructural son los derivados de tiosemicarbazonas (Figura 5). En conjunto, estos compuestos son de interés en la química de coordinación por ser ligantes donadores de electrones para metales de transición, ya que se sabe que metales como el Pd(II) puede quedarse con átomos de oxígeno con facilidad si se

involucran en la reacción átomos que forman enlaces más fuertes con el metal, como nitrógeno o azufre (Balboa *et al.*, 2007).



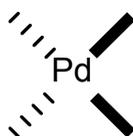
**Figura 5.** Estructura general de las tiosemicarbazonas.

Durante las últimas décadas se ha incrementado el interés en las propiedades farmacológicas de semicarbazonas, tiosemicarbazonas y sus complejos metálicos, debidos a la capacidad para funcionar como anticonvulsionantes (e y f), antimicrobianos (g y h), agentes antituberculosos (i), antimaláricos (j), antioxidantes (k) y anticancerosos (l) (Figura 6) (Sigh *et al.*, 1985; Padhye *et al.*, 1985; West *et al.*, 1991; Dimmock *et al.*, 1996; Beraldo *et al.*, 2004; Reddy *et al.*, 2004; Dutta *et al.*, 2005; Pandeya *et al.*, 2011; Singhal *et al.*, 2011; Ali *et al.*, 2012; Islam *et al.*, 2012; Mendoza *et al.*, 2014).



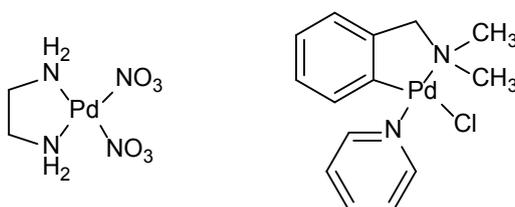
**Figura 6.** Estructuras de semicarbazona y tiosemicarbazona con actividad biológica.

El paladio es uno de los metales que presenta afinidad a este tipo de compuestos. El Pd(II) es un átomo que se ubica dentro del grupo d8, en la segunda serie de transición, sus estados de oxidación son 0, I, II y IV, siendo el más frecuente el II, con una geometría cuadrada (Figura 7), es un ácido de Lewis «blando» según la clasificación de Pearson, con carga positiva baja, tiene una alta polarización y baja electronegatividad; por lo general, muestra poca afinidad por ligandos «duros» como O o F y una preferencia por  $R_3P$ ,  $R_2S$ ,  $CN^-$ ,  $NO^{2-}$  alquenos y alquinos (Cotton *et al.*, 1999).



**Figura 7.** Geometría cuadrada del paladio.

Algunos de los complejos de paladio de tipo Pd(N-C)LX, en donde el enlace N-C pertenece a una amina alifática o aromática coordinada como ligando quelato a través del grupo amino y un átomo de C formando un ciclometalado, L= amina, X= cloro o acetato, han mostrado efecto citotóxico frente a siete líneas celulares de tumores humanas como lo son MCF-7 (cáncer de mama), HCT-15 (Adenocarcinoma de colon), PC-3 (Adenocarcinoma de próstata), Leucemia P388, KB (Factor nuclear kapa B) y Leucemia L1210 (Figura 8) (Clarke *et al.*, 1999).



**Figura 8.** Complejos de paladio con aplicaciones citotóxicas.

En nuestro grupo de trabajo se llevan a cabo estudios de reactividad sobre el aldehído del acetato de maturina (1), con la finalidad de generar derivados de interés químico y farmacológico. La susceptibilidad de 1 para generar bases de Schiff ha sido demostrada con la obtención de la semicarbazona (2) y la tiosemicarbazona (3) del acetato de maturina. En el presente trabajo dichos compuestos fueron evaluados en estudios de reactividad coordinante frente a  $PdCl_2$ , permitiendo la obtención de novedosos complejos neutros.

## Justificación

Los compuestos nitrogenados como las bases de Schiff destacan por tener interesantes propiedades biológicas, además se sabe que este tipo de compuestos muestran afinidad hacia diversos centros metálicos. En los últimos años se han descrito una gran cantidad de compuestos de coordinación empleando bases de Schiff como ligantes, obteniendo así complejos metálicos con interesantes propiedades biológicas, catalíticas y luminiscentes. Por lo anterior, surge el interés de explorar el comportamiento coordinante de derivados nitrogenados de eremofilanos frente a la sal metálica de cloruro de paladio(II), con la finalidad de obtener novedosos derivados que incluyan fragmentos estructurales de origen natural.

## Objetivo general

Evaluar el comportamiento coordinante de la semicarbazona (2) frente a la sal metálica de cloruro de paladio(II).

## Objetivos específicos

- Aislar y purificar el acetato de maturina (1) a partir de la raíz de *Psacalim peltatum*.
- Preparar las iminas 2 y 3 a partir del acetato de maturina (1).
- Explorar la reactividad de la semicarbazona (2) en reacción de coordinación frente a la sal metálica de cloruro de paladio(II).
- Caracterizar los productos de reacción por métodos físicos y espectroscópicos.

## Metodología

- Colecta de la especie vegetal *Psacalium peltatum*.
- Separación en sus distintas partes, secar a la sombra y triturar.
- Extracción a reflujo en hexanos durante 6 horas.
- Filtrar y evaporar a presión reducida en rotavapor.
- Purificación de acetato de maturina (1).
- Preparación de los ligantes 2 y 3.
- Formación del complejo de paladio(II) a partir de la semicarbazona.

## Resultados

### *Colecta de la planta*

La especie vegetal *Psacalium peltatum* se colectó en el mes de agosto de 2019 en el km 207 de la carretera federal número 15 México-Morelia.

### *Obtención y caracterización de la materia prima.*

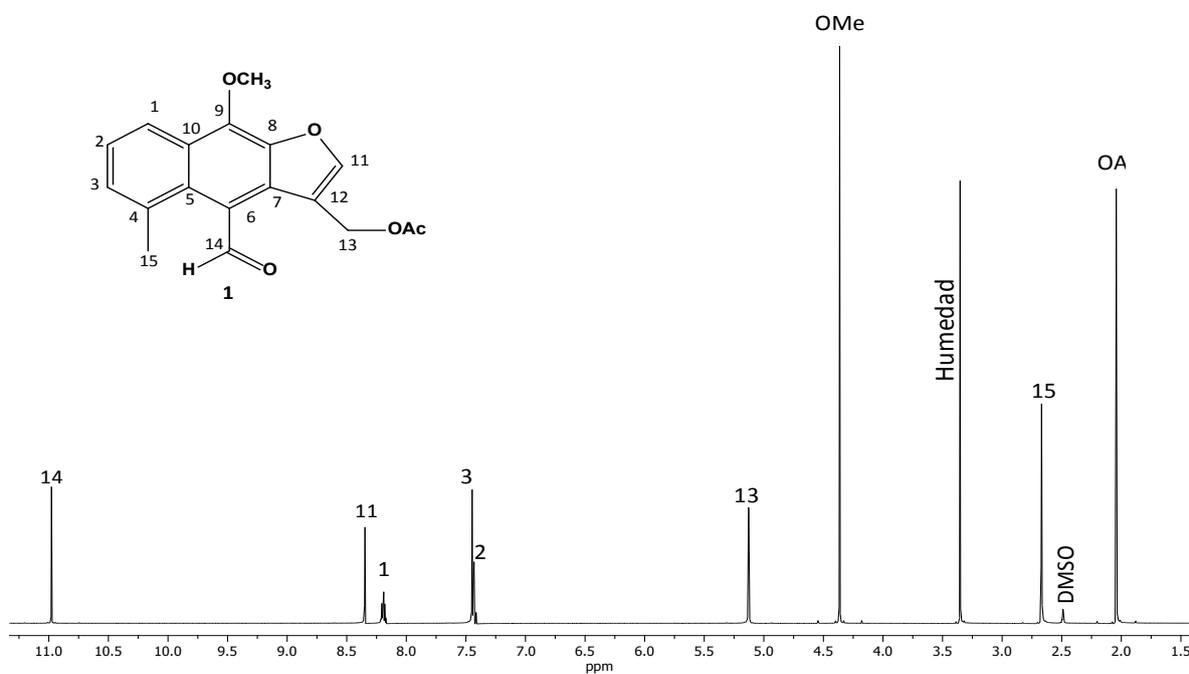
Para la obtención de la materia de partida, la planta se separó en sus distintas partes: raíz, tallos y hojas. El aislamiento del acetato de maturina (1) se llevó a cabo sometiendo a reflujo un lote de 740 gramos de raíz seca y molida en hexanos por cinco horas; transcurrido este tiempo, se filtró y evaporó a presión reducida para obtener 20.2 gramos del extracto hexánico de la raíz. En el extracto concentrado se obtuvo un precipitado amarillo que se cristalizó con hexanos obteniéndose 2.5 gramos de 1 como cristales amarillos claros en forma de aguja, con punto de fusión de 76-78 °C, que se analizaron por RMN de  $^1\text{H}$  y  $^{13}\text{C}$  en  $\text{CDCl}_3$  cuyos datos fueron iguales a los de la literatura (Tabla 1) (Bohlmann *et al.*, 1977; Vilchis *et al.*, 2013).

**Tabla 1**  
Comparativo de desplazamientos de RMN de  $^1\text{H}$  y  $^{13}\text{C}$  de 1 en  $\text{CDCl}_3$

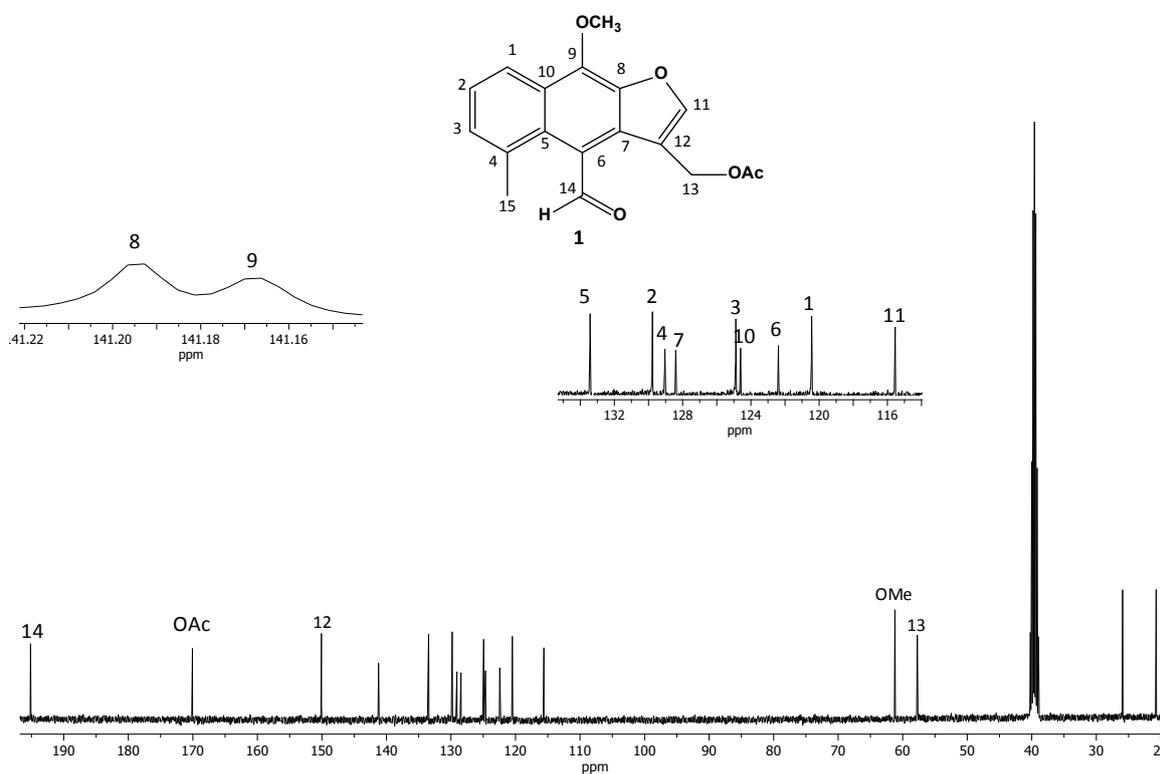
$^1\text{H}$ $\delta$ (ppm)			$^{13}\text{C}$ $\delta$ (ppm)		
	Ref.	Exp.		Ref.	Exp.
H-1	8.30	8.30	C-1	121.0	121.2
H-2	7.41	7.40	C-2	130.2	129.5
H-3	7.41	7.42	C-3	124.7	124.9
H-11	8.33	8.86	C-4	130.3	130.5
H-13	5.33	5.33	C-5	133.4	133.6
H-14	11.01	11.00	C-6	122.0	122.1
H-15	2.79	2.79	C-7	129.3	129.5
H-16	4.44	4.44	C-8	142.4	142.9
H-2'	2.09	2.09	C-9	141.7	141.9
			C-10	125.4	125.5
			C-11	116.4	116.5
			C-12	148.9	149.1
			C-13	58.4	58.6
			C-14	193.4	193.6
			C-15	26.6	26.8
			C-16	61.1	61.2
			C-1'	170.5	170.7
			C-2'	21.0	21.2

Con fines de comparación posterior, se determinó la RMN de  $^1\text{H}$  en  $\text{DMSO-}d_6$ . Su espectro de  $^1\text{H}$  (400 MHz) (Figura 9) mostró una señal simple que integró para el hidrogeno del aldehído en 10.99 ppm, en 8.36 ppm se encontró una señal simple perteneciente a H-11 del anillo de furano, en 8.19, 7.46 y 7.44 ppm se observaron las señales de los hidrógenos aromáticos H-1, H-2 y H-3, respectivamente, en 5.14 ppm ubicó la señal doble con  $J = 0.72$  Hz que integró para dos protones asignado al metileno base de acetato H-13, en 4.37 ppm se encontró la señal simple del grupo metoxilo, en 3.36 ppm se observó la señal simple del metilo aromático H-15, y en 2.05 ppm se ubicó la señal simple del metilo del acetato.

En el espectro de RMN de  $^{13}\text{C}$  (100 MHz,  $\text{DMSO-}d_6$ ) (Figura 10) se observaron las 18 señales esperadas para el acetato de maturina (1), en 195.2 y 170.1 ppm se observaron las señales de los carbonilos de aldehído y acetato, respectivamente, entre 150.1 y 115.6 ppm se observaron las señales de los carbonos aromáticos de la molécula, en 61.2 ppm se ubicó la señal del metoxilo, en 57.7 ppm se encontró la señal del metileno C-13, finalmente, entre 25.9 y 20.7 ppm se observaron las señales de los metilos C-15 y del grupo acetato, respectivamente.



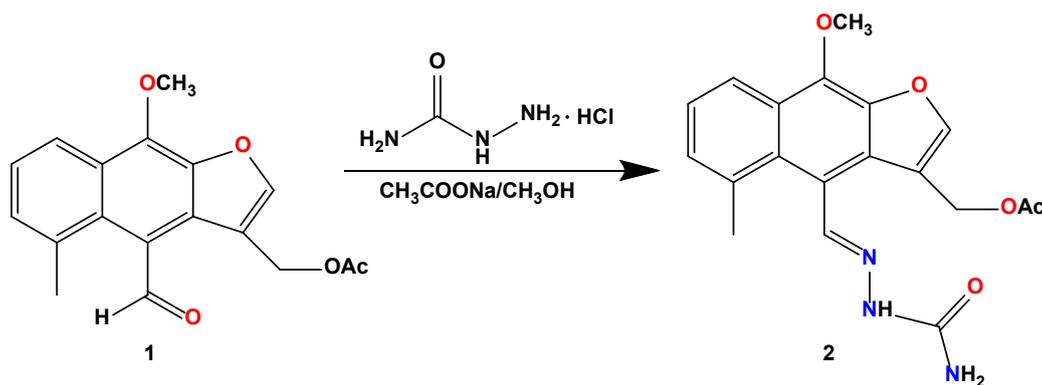
**Figura 9.** Espectro de RMN de  $^1\text{H}$  a 400 MHz en  $\text{DMSO-}d_6$  del acetato de maturina (1).



**Figura 10.** Espectro de RMN de  $^{13}\text{C}$  a 100 MHz en  $\text{DMSO-}d_6$  del acetato de maturina (1).

### *Obtención y caracterización de las Bases de Schiff.*

Una vez caracterizado el acetato de maturina (1), se comenzó con la preparación de los derivados nitrogenados (Esquema 1), por lo que se realizó una reacción para obtener la semicarbazona correspondiente (2).



**Esquema 1.** Reacción de la derivatización del acetato de maturina.

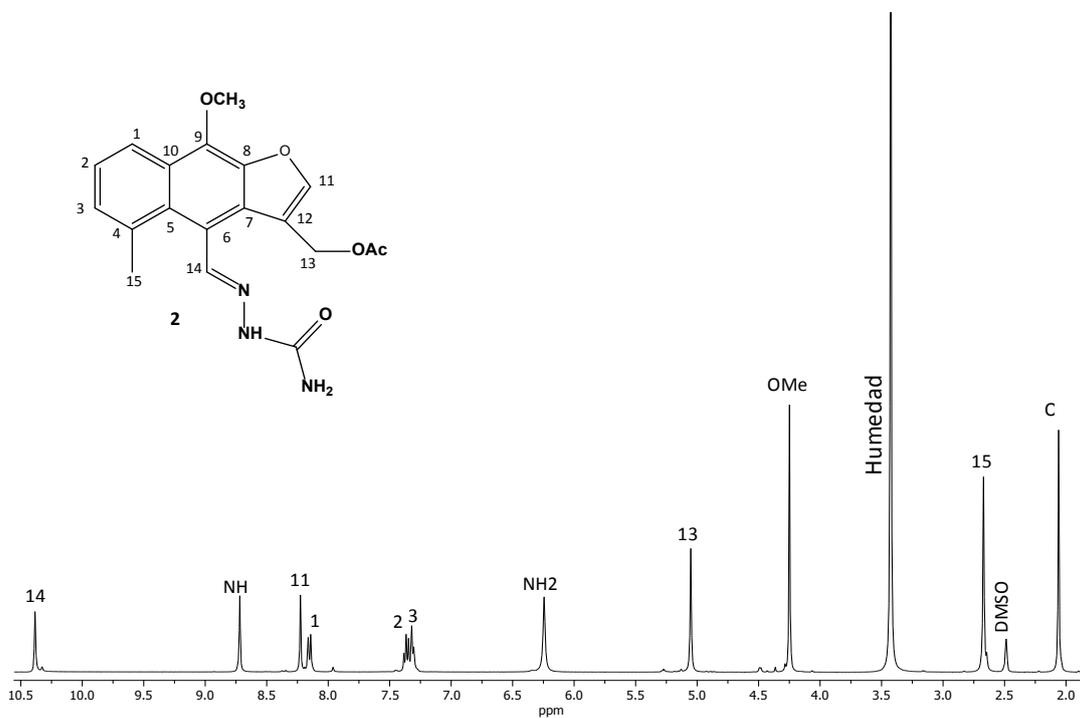
Para esta reacción se emplearon 200 mg de 1 disuelto en 8 mL de MeOH, se adicionaron 71.3 mg de clorhidrato de semicarbazida y 52.5 mg de acetato de sodio. La reacción se dejó en agitación y reflujo constante por 2.5 horas. Trascurrido este tiempo, se enfrió la reacción obteniendo un precipitado el cual se lavó con diclorometano, obteniéndose la semicarbazona (2) como un sólido de color beige en un 75.3 % de rendimiento. Las propiedades fisicoquímicas de 2 fueron comparadas con las de 1 (Tabla 2).

**Tabla 2**  
Comparativo de las propiedades fisicoquímicas del producto de reacción 2 y 1

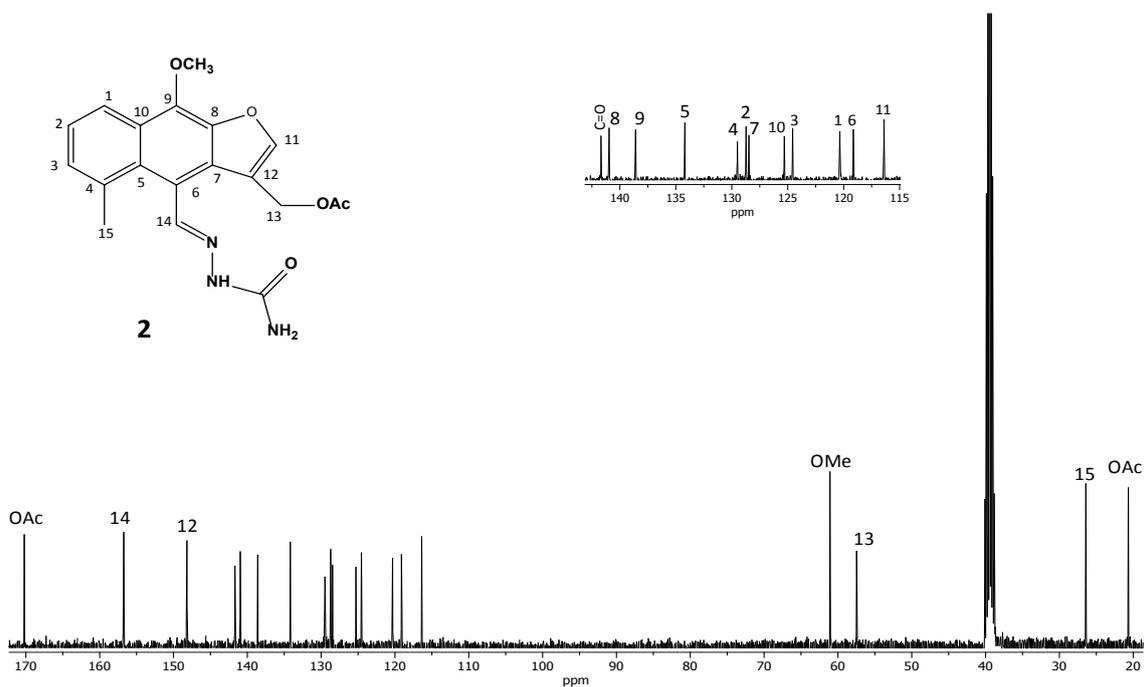
Características	1	2
Aspecto	Cristales	Sólido amorfo
Color	Amarillos	Beige
Punto de fusión	76-78 °C	---
Punto de descomposición	---	223-229 °C
Solubilidad	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , AcOEt, Acetona, CH <sub>3</sub> CN, MeOH, DMSO	CH <sub>3</sub> CN/Δ, DMSO

La imina 2 fue analizada por RMN de <sup>1</sup>H (400 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>) (Figura 11) en el que se percibieron las señales características del acetato de maturina (1), observándose un desplazamiento a frecuencias menores del protón H-14 (10.36 ppm) y la aparición de dos nuevas señales en 8.72 y 6.23 ppm correspondientes al NH y NH<sub>2</sub> de semicarbazona, respectivamente.

El espectro de RMN de <sup>13</sup>C (100 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>) (Figura 12) mostró las 19 señales esperadas en el producto de reacción 2, destacando el desplazamiento a frecuencias menores del carbono C-14 en 156.6 ppm y la presencia de una nueva señal en 141.7 ppm atribuida al carbonilo de tipo urea, característico de las semicarbazonas.

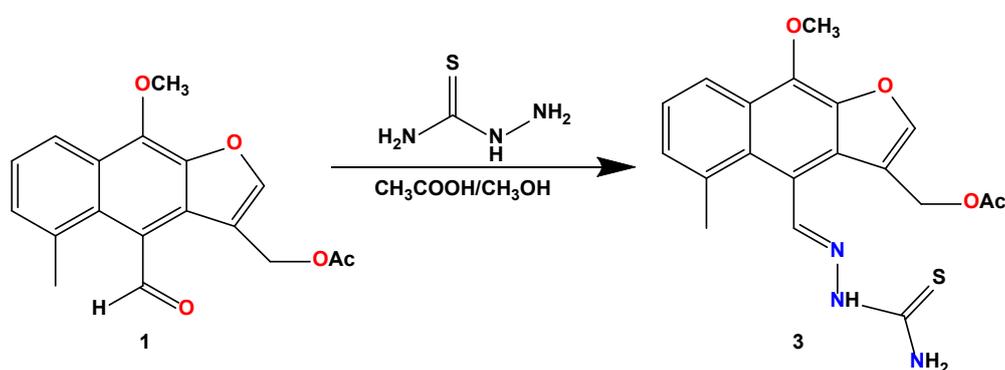


**Figura 11.** Espectro de RMN de  $^1\text{H}$  a 400 MHz en  $\text{DMSO-}d_6$  de la semicarbazona (2).



**Figura 12.** Espectro de RMN de  $^{13}\text{C}$  a 100 MHz en  $\text{DMSO-}d_6$  de la semicarbazona (2).

Continuando con la preparación de los ligantes a partir de acetato de matorina (1), se realizó la reacción para obtener la tiosemicarbazona (3), para lo cual se utilizaron 200 mg de 1, 58.37 mg de tiosemicarbazida y 5 gotas de ácido acético glacial, disueltos en 8 mL de MeOH a reflujo y agitación durante 3 horas (Esquema 2). Trascurrido este tiempo, se enfrió la reacción obteniéndose un precipitado que se lavó con diclorometano quedando un sólido amarillo en un 75 % de rendimiento. Las propiedades fisicoquímicas del producto de reacción 3 fueron comparadas con las de la materia de partida 1 (Tabla 3).



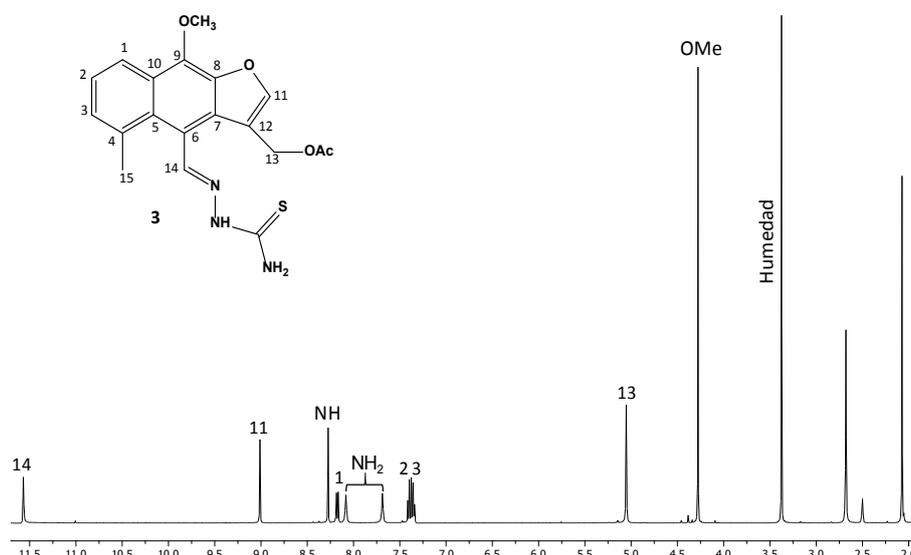
**Esquema 2.** Reacción de la derivatización del acetato de matorina (1).

**Tabla 3**

Comparativo de las propiedades fisicoquímicas del producto de reacción 3 y acetato de matorina (1)

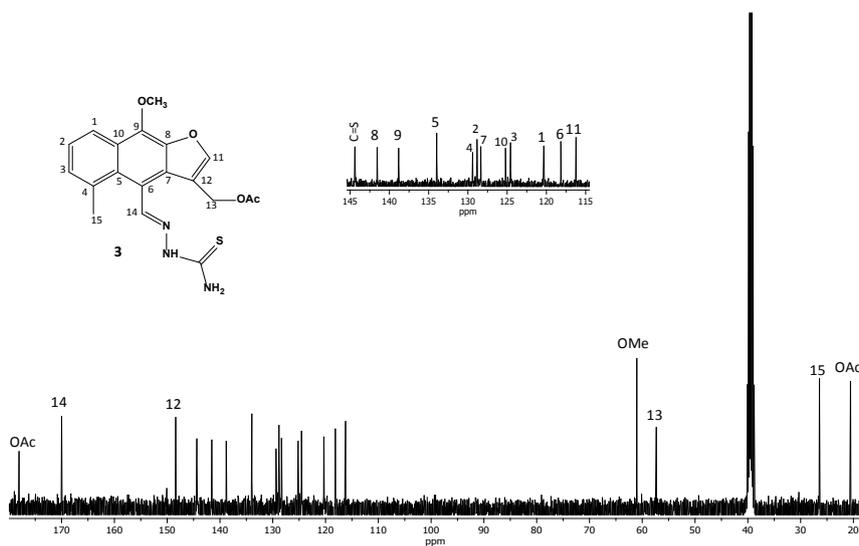
Características	1	3
Aspecto	crisales	Sólido
Color	amarillo	amarillo
Punto de fusión	76-78 °C	227-229°C
Solubilidad	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , AcOEt, Acetona, CH <sub>3</sub> CN, MeOH, DMSO	CH <sub>3</sub> CN/Δ, DMSO

La tiosemicarbazona 3 se analizó por RMN de <sup>1</sup>H (400 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>) (Figura 13) en el que se observó el patrón de señales de la materia de partida (1), en donde se apreció un desplazamiento a frecuencias mayores del protón H-14 (11.57 ppm) y la aparición de tres nuevas señales, una en 8.27 ppm correspondiente al NH y dos más en 8.08 y 7.6 ppm correspondientes a los protones del NH<sub>2</sub> de la tiosemicarbazona.



**Figura 13.** Espectro de RMN de  $^1\text{H}$  a 400 MHz en  $\text{DMSO-}d_6$  de la tiosemicarbazona (3).

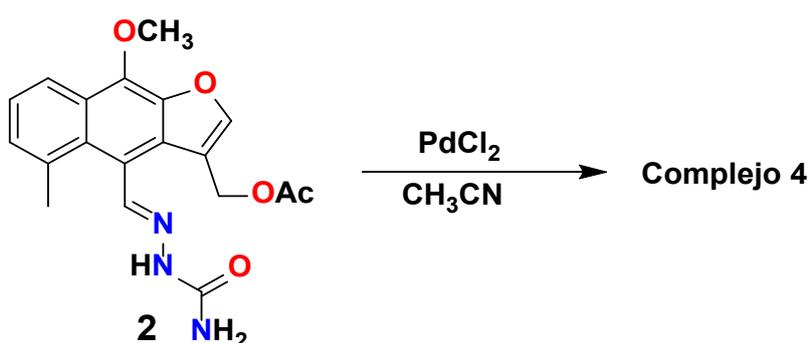
El espectro de RMN de  $^{13}\text{C}$  (100 MHz,  $\text{DMSO-}d_6$ ) (Figura 14) mostró las 19 señales esperadas en el producto de reacción, destacando el desplazamiento a frecuencias menores de la señal C-14 en 170.0 ppm y la aparición de la señal en 144.4 ppm atribuida al carbonilo de la tiourea.



**Figura 14.** Espectro de RMN de  $^{13}\text{C}$  a 100 MHz en  $\text{DMSO-}d_6$  de la tiosemicarbazona (3).

*Obtención y caracterización del complejo de semicarbazona con Pd(II)*

Posterior a la preparación de los ligantes, se procedió a efectuar su evaluación coordinante frente a Pd(II), para lo cual se utilizaron 100 mg de 2, 48 mg de PdCl<sub>2</sub> disueltos en 5 mL de CH<sub>3</sub>CN a reflujo y agitación durante 5 horas (Esquema 3). Transcurrido el tiempo de reacción, esta se enfrió formando un precipitado que se lavó con CH<sub>3</sub>CN, mezcla CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>-MeOH obteniéndose un sólido rojizo en un rendimiento de 80 %. Las propiedades fisicoquímicas del producto de reacción fueron comparadas con las de la materia de partida 2 (Tabla 4).



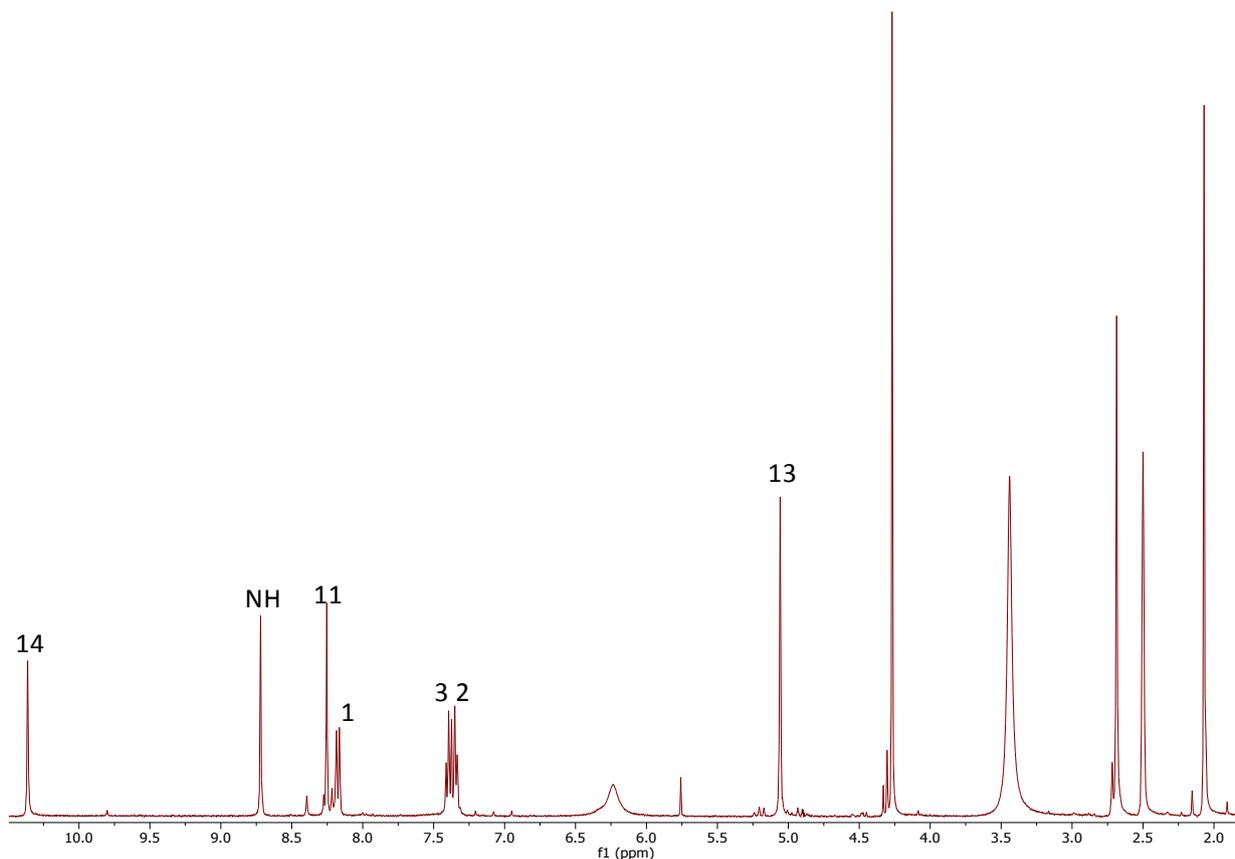
**Esquema 3.** Reacción coordinación de la semicarbazona 2 frente a Pd(II).

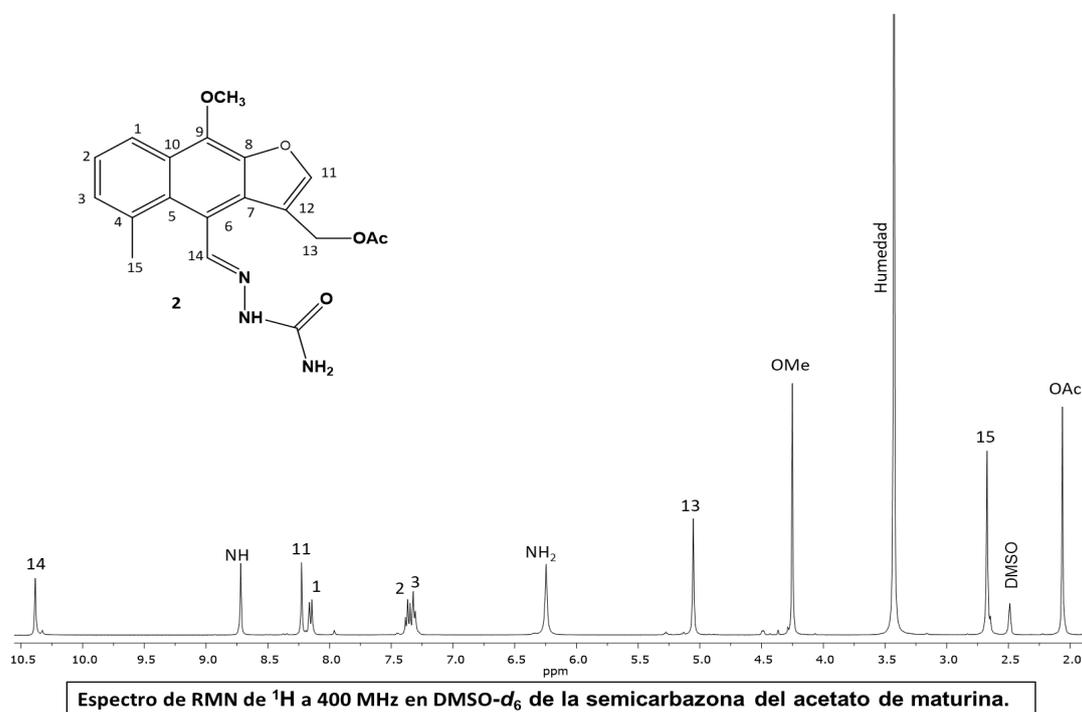
**Tabla 4**

Comparativo de las propiedades fisicoquímicas del producto de reacción 4 y semicarbazona del acetato de matorina (2)

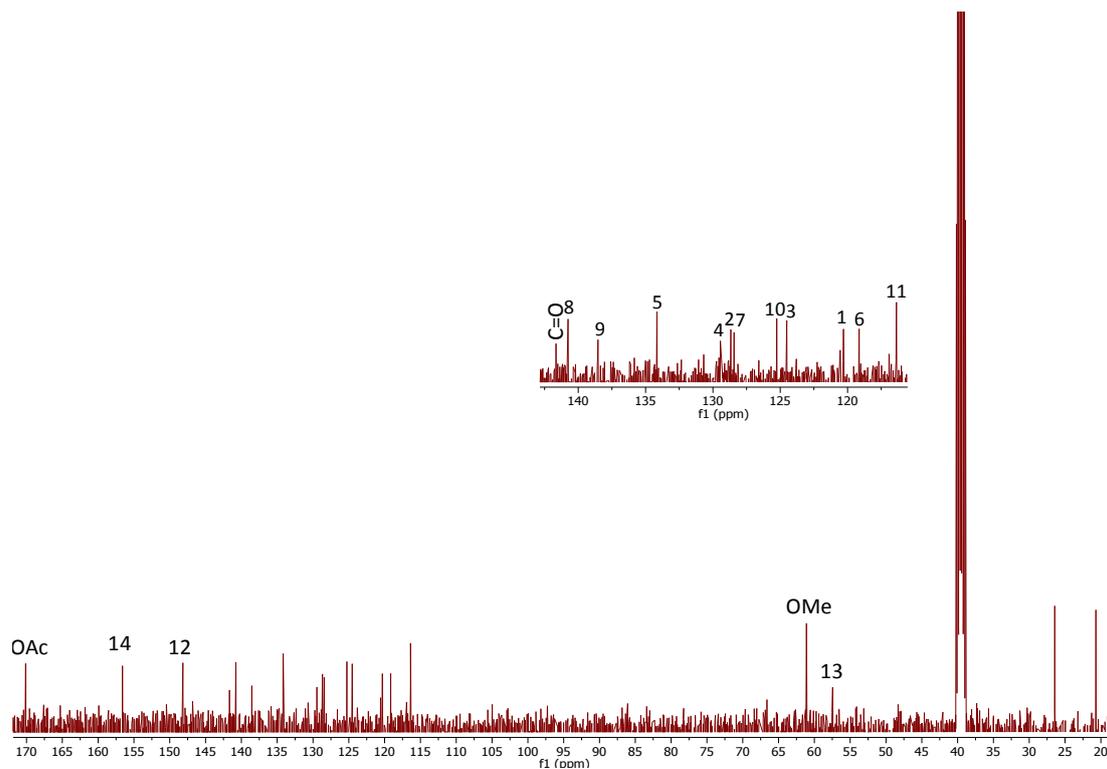
Características	2	4
Aspecto	Sólido amorfo	Sólido
Color	Beige	Rojizo
Punto de fusión	---	215-220 °C
Punto de descomposición	223-227 °C	
Solubilidad	CH <sub>3</sub> CN/Δ, Mezcla CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> /MeOH, DMSO	DMSO, CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> CN

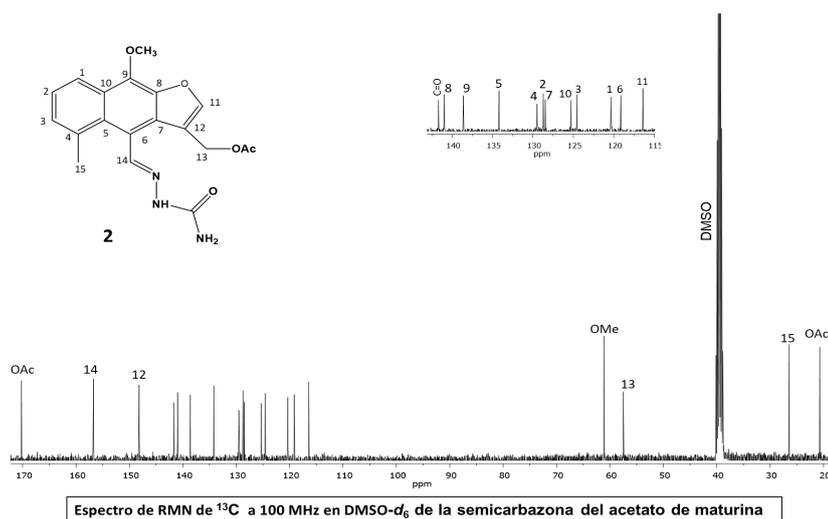
En el espectro de RMN de  $^1\text{H}$  (400 MHz,  $\text{DMSO-}d_6$ ) mostrado en el comparativo de RMN (Figura 15) no se observaron cambios significativos en la porción orgánica del producto de reacción, a excepción de la señal atribuida a  $\text{NH}_2$  que mostró un ensanchamiento significativo y que la señal en 2.07 ppm integró para 6 hidrógenos. El espectro de RMN de  $^{13}\text{C}$  (100 MHz,  $\text{DMSO-}d_6$ ) observado (Figura 16) no mostró señales con cambios significativos en comparación con aquellas de la materia de partida.





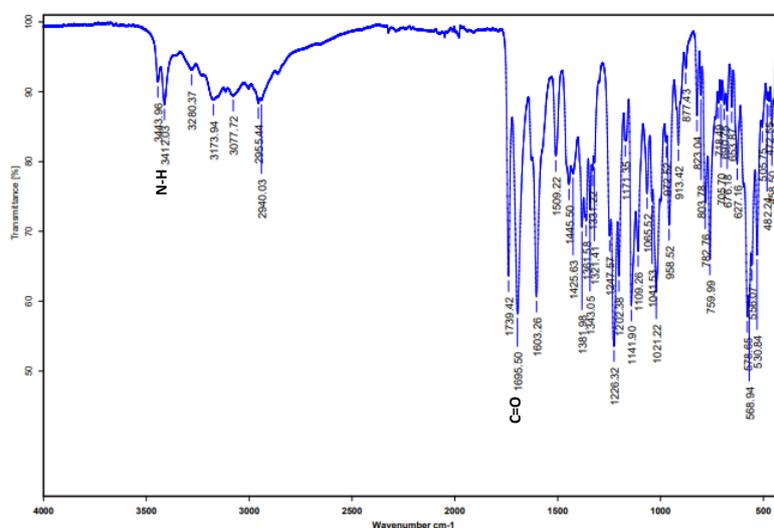
**Figura 15.** Comparativo de RMN de  $^1\text{H}$  a 400 MHz en  $\text{DMSO}-d_6$  del complejo de la semicarbazona del acetato de maturina (2).





**Figura 16.** Comparativo de RMN de  $^{13}\text{C}$  a 100 MHz en  $\text{DMSO-}d_6$  del complejo de la semicarbazona del acetato de matorina (2).

El complejo 4 fue analizado por IR, en el espectro (Figura 17) se observaron dos bandas características en  $3412.03\text{ cm}^{-1}$  y  $1695.50\text{ cm}^{-1}$ , la primera atribuida al grupo funcional NH con un tipo de vibración de tensión y la segunda atribuida al grupo funcional C=O, la cual es una banda de tensión. No se mostraron cambios significativos en comparación con la materia de partida 2 (Tabla 5).



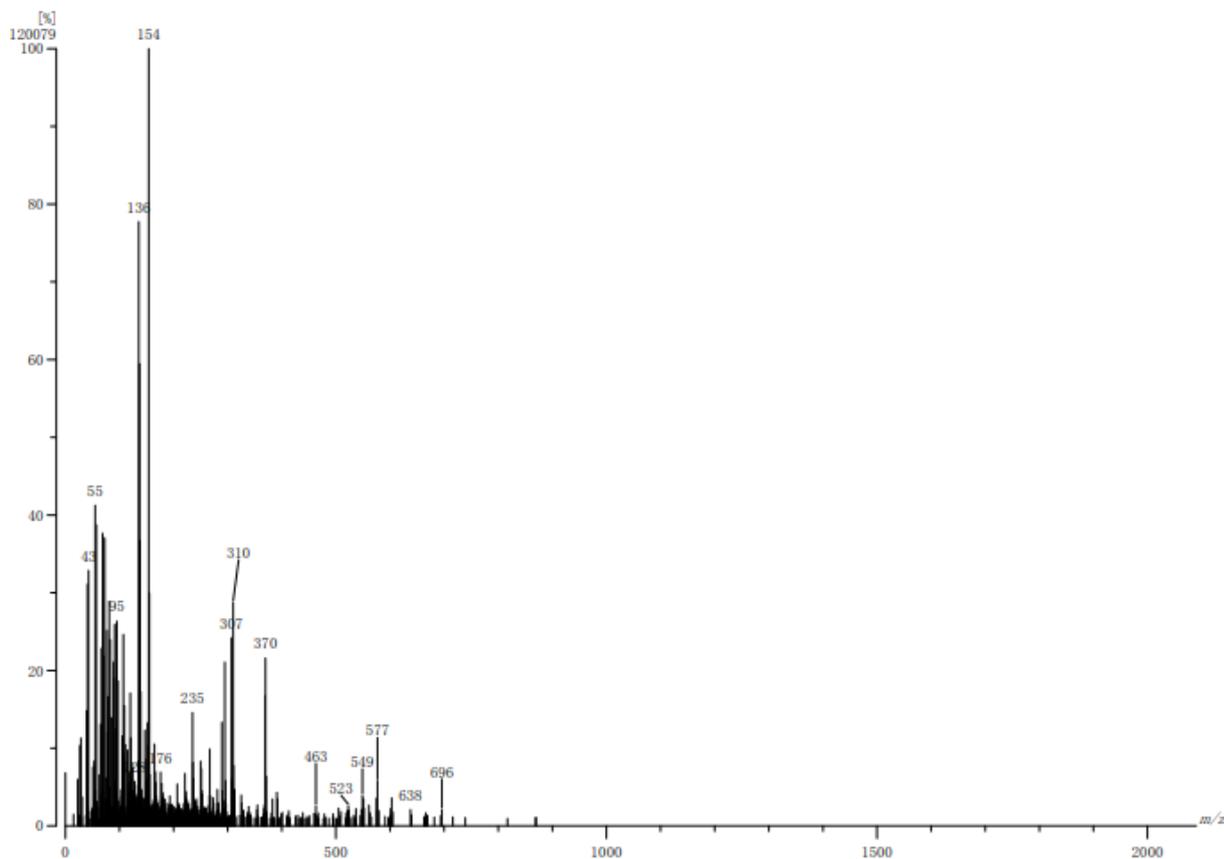
**Figura 17.** Espectro de infrarrojo del complejo de la semicarbazona del acetato de matorina.

**Tabla 5**

Tabla comparativa de desplazamientos IR del grupo NH y carbonilo entre 2 y 4

Semicarbazona (2)	( $\text{cm}^{-1}$ )	4	( $\text{cm}^{-1}$ )
NH	3412.91	NH	3412.03
C=O	1697.20	C=O	1695.50

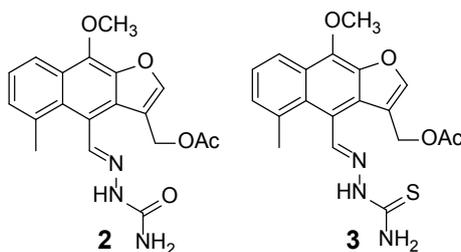
Dicho complejo también fue analizado por espectrometría de masa, en su espectro (Figura 18) se identificó el ion molecular  $[\text{M}]^+$  de  $m/z$  696 que coincide con la fórmula molecular del compuesto ( $\text{C}_{21}\text{H}_{22}\text{Cl}_2\text{N}_4\text{O}_5\text{Pd}_2$ ). Además, se puede identificar el fragmento  $[\text{M}-\text{OAc}]^+$  de  $m/z$  638.

**Figura 18.** Espectro de masas del complejo semicarbazona de matura- $\text{CH}_3\text{CNCI}_2\text{Pd}_2$

Con la evidencia obtenida hasta el momento, y con base en el comportamiento coordinante de la semicarbazona de maturina (2), se propone la formación del complejo semicarbazona de maturina- $\text{CH}_3\text{CNCl}_2\text{Pd}_2$  (4).

## Conclusión

Se logró la extracción y purificación del acetato de maturina (1) a partir de la raíz de *Psacaliium peltatum* y la posterior obtención de los derivados nitrogenados 2 y 3.



Asimismo, se hizo la evaluación del comportamiento coordinante de estos derivados frente a  $\text{PdCl}_2$ , lo cual permitió la obtención del complejo semicarbazona de maturina- $\text{CH}_3\text{CNCl}_2\text{Pd}_2$  (4).

## Bibliografía

- Argueta, L. M y Cano, M. E. (1994). *Rodarte, Atlas de las plantas de la medicina tradicional mexicana*. México, Instituto Nacional Indigenista, 2, 985-990.
- Balboa Benavente, S. (2007). *Química de coordinación de iones Metálicos en estado de Oxidación II Derivados de  $\alpha$ -Hidroxicarboxilatos* [Tesis], Universidad de Santiago de Compostela.
- Bello, M. A. (1993). *Plantas útiles no maderables de la sierra purépecha* [Folleto Técnico núm. 10]. Universidad de Michoacán de San Nicolás de Hidalgo.
- Bohlmann, F., Zdero, C. y Grenz, M. (1977). Weitere Inhaltsstoffe aus südafrikanischen Senecio-Arten, Natürlich vorkommende Terpen-Derivate. *European Journal of Inorganic Chemistry*, 110(2), 474-486.
- Clarke, M. J. y Sadler, P. J. (1999). *Topics in biological Inorganic chemistry* (vol. 1). Editorial Springer, USA.
- Cotton, A. y Wilkinson, G. (1999). *Advanced Inorganic Chemistry* (4 Ed.), United States of America.
- Dimmock, J. R.; Puthucode, R. N., Smith, J. M., Hetherington, M., Quail, J. W., Pugazhenthii, U., Lechler, T. y Stables, J. P. (1996). *Journal of Medicinal Chemistry*, 39(20), 3984-3997.
- Duttaa, S., Padhye, S., Priyadarsini, I. y Newtonc, C. (2005). Antioxidant and antiproliferative activity of curcumin semicarbazone, *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 15(11), 2718-2744.

- Islam, K., Mohsin Ali, S. M., Jesmin, M. y Ara Khanam, J. (2012). *In vivo* anticancer activities of benzophenone semicarbazone against ehrlich ascites carcinoma cells in swiss albino mice. *Cancer Biology & Medicine*, 9(4), 242-247.
- Juárez Vázquez, M. C., Alonso Castro, A. J., Rojano Vilchis, N., Jiménez Estrada, M. y García Carrancá, A. (2013). Maturin acetate from *Psacalium peltatum* (Kunth) Cass. (Asteraceae) induces immunostimulatory effects in vitro and in vivo, *Elsevier*, 27(3), 1001-1006.
- Manzanero Medina, G. I., Flores Martínez, A., Sandoval Zapotitla, E. y Bye-Boettler, R. (2009). Etnobotánica de siete raíces medicinales en el mercado de Sonora de la Ciudad de México. *Polibotánica*, (27), 191-228.
- Mc Murry, J. (2008). *Química orgánica* (7ª. Edición). Cengage Learning Editores, S.A, México.
- Mendoza, M. R. (2014). *Synthesis and structural study of thiosemicarbazones and their coordination compounds* [Tesis de Doctorado]. Universidad de Oviedo, España.
- Mohsin Alil, S. M., Kalam Azad, M. A., Jesmin, M., Ahsan, S., Mijanur Rahman, M., AraKhanam, J., Nazrul Islam, M. y Shahan Shahriar, S. M. (2012). *In vivo* anticancer activity of vanillin semicarbazone. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(6), 438-442.
- Ocegueda, S., Moreno, E. y Koleff, P. (2005). Plantas utilizadas en la medicina tradicional y su identificación científica. *Biodiversitas*, 62, 12-15.
- Padhyé, S. y Kauffman, G. B. (1985). Transition metal complexes of semicarbazones and thiosemicarbazones. *Coordination Chemistry Reviews*, 63, 127-160.
- Pandeya, S. N., Ahmed Khan, A. y Srivastava, A. (2011). Synthesis of 4-aryl substituted semicarbazones and their terpenes derivatives: A newer scaffold as an anticonvulsant agents. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 3(5), 456-464.
- Perentena, L., González, C., Celis, B., Valbuena, A. y Colina, M. (2015). Síntesis de bases de Schiff derivadas del Quitosano por reacción con p-dimetilaminobenzaldehído y 4-hidroxi-3-metoxibenzaldehído. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 16(1), 1-27.
- Pinder, A. R., Voelter, W. y Wahlberg, I. (1977). Progress in the chemistry of organic natural products, Springer, Fortschritte der Chemie Organischer Naturstoffe, USA, 34, 81-186.
- Rojano Vilchis, N., Hernández Ortega, S., Jiménez Estrada, M. y Torres Avilés, A. (2013). Isolation and anti-inflammatory effects of maturin acetate from the roots of *Psacalium peltatum* (Asteraceae). *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(22), 1600-1607.
- Ruiz Garzón, N. E. y Rommy, T. (2018). *Evaluación de la Actividad antioxidante de bases de Schiff derivadas de la 4-aminoantipirina*. Universidad Central de Ecuador.
- Singh, N. K., Agrawal, S. y Aggarwal, R. C. (1985). Synthetic, structural and antifungal studies of some 3d-Metal complexes of salicylaldehyde-2 furanthiocarboxyhydrazone. *Synthesis and reactivity in inorganic and metalorganic chemistry*, 15(1), 175-92.
- Singhal, M., Paul, A., Singh, P. H., Dubey, K. S. y Songara, K. R. (2011). Synthesis and evaluation of antioxidant activity of semicarbazone derivatives. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research*, 3(2), 150-154.
- Vidal Ayala, J. E. (2017). *Síntesis de complejos de coordinación a partir de derivados de eremofilanos* [Tesis de Maestría]. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

## **Remoción de arsénico en solución acuosa mediante nanopartículas de hierro soportadas sobre nanotubos de carbono**

José Anthony Castro Delgado  
Julián López Tinoco  
Rafael Huirache Acuña  
Javier Lara Romero  
Andrés Alejandro Damián Reyna

### **Introducción**

Los nanotubos de carbono (NTC) son alótopos del carbono, como el diamante, el grafito o los fullerenos. Su estructura puede ser procedente de una lámina de grafeno enrollada sobre sí misma. Debido al grado de enrollamiento, y la manera como se conforma la lámina original, muestran distinto diámetro y geometría interna (Andrade *et al.*, 2012). Los NTC poseen una elevada área superficial y su estructura porosa y en capas, es ideal para almacenar diversos elementos y sustancias químicas. En estudios recientes los nanotubos han sido adsorbentes de nicotina y alquitrán del humo de los cigarrillos, tintas reactivas, compuestos orgánicos volátiles (n-pentano, n-hexano, n-heptano, n-octano, n-ciclohexano, benceno, tricloroetileno), microcistinas, iones metálicos divalentes y trihalometanos del agua ( $CHCl_3CHCl_3$ ,  $CHBrCl_2CHBrCl_2$  y  $CHBr_3CHBr_3$ ). Entre los adsorbentes de iones metálicos tóxicos (carbón activado, zeolitas, biomateriales, resinas, entre otros), los investigadores están interesándose por los NTC debido a su alta capacidad de adsorción.

Las partículas de óxido de hierro tienen un enorme potencial en varios campos por sus propiedades fisico-químicas, además de su posibilidad de ser recubiertas o recubrir otros materiales, y agregado a eso, las ventajas ya conocidas de las nanopartículas han adquirido gran relevancia en los campos de la nanociencia y nanotecnología. Los óxidos presentan especial importancia debido a sus aplicaciones en pigmentos, como agentes anticorrosivos, en procesos de tratamiento de aguas residuales y como adsorbentes de metales pesados (Corredor y Echeverría, 2007).

Los nanocompuestos formados de NTC y metal u óxidos metálicos son materiales de gran interés debido a las propiedades que exhiben cada uno por separado y mejorarse a la generación de nuevas propiedades al combinarlos en algunos casos. En este trabajo se empleó el método de microondas para sintetizar nanopartículas de óxido de hierro soportadas sobre nanotubos de carbono, y así determinar la compatibilidad de ambos compuestos juntos en la remoción de arsénico del agua.

### **Antecedentes**

Hasta el momento, muchas tecnologías para remover arsénico de un sistema acuoso han sido desarrolladas y la técnica de adsorción se está volviendo cada vez más popular por su simplicidad, potencial de regeneración y operación libre de lodos. En estudios anteriores, algunos carbonos activados se desarrollaron utilizando aguas lodosas residuales orgánicas y se analizaron los carbonos

~

para la eliminación de As (III) y As (V) del agua. Sin embargo, se descubrió que los carbonos eran mucho menos efectivos para eliminar el arsénico, pero eficientes para eliminar el mercurio de la solución acuosa. Según estudios previos, óxidos de hierro, incluidos oxihidróxidos e hidróxidos tal como el óxido férrico hidratado amorfo (FeOOH), goetita ( $\alpha$ -FeOOH) y hematita ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), son prometedores materiales adsorbentes efectivos para remover del agua ambos As (III) y As (V) (Zhang & Itoh, 2005).

La síntesis de nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT) por el proceso de Spray Pyrolysis de una materia prima biorenovable como lo es el aceite de trementina, mezcla natural de terpenos obtenidos de la destilación de la resina de la goma extraída de los árboles vivos de pino y cuyos componentes principales son el  $\alpha$ -pineno y  $\beta$ -pineno a concentraciones de ~65 % y 30 % respectivamente. En donde la temperatura óptima encontrada para producir un alto rendimiento (~193 %) de MWCNT es de 800 °C y donde se descubrió que el  $\alpha$ -pineno puro es más activo en la producción de más MWCNT cristalinos que el  $\beta$ -pineno puro (Lara-Romero *et al.*, 2011).

## Objetivos

- Sintetizar nanopartículas de óxido de hierro sobre nanotubos de carbono de pared múltiple.
- Caracterizar las nanopartículas depositadas sobre los NTC mediante microscopía electrónica de transmisión (TEM) y difracción de rayos X (XRD).
- Evaluar la capacidad de remoción de arsénico mediante espectrofotometría de absorción atómica.

## Metodología

### *Síntesis de nanopartículas de óxido de hierro sobre nanotubos de carbono*

Las nanopartículas de óxido de hierro sobre NTC se prepararon como sigue: 0.025 g de NTC funcionalizados se dispersan en agua desionizada. Posteriormente se prepararon 10 ml de una solución de nitrato de hierro III nonahidratado, y en otro vial se preparó una solución al 8 % en peso de di(2-etilhexil) sulfosuccinato (AOT). A la solución de los NTC se le agregan ambos viales, todo en agitación magnética, después se le agrega gota por gota una solución de Borohidruro de sodio (NaBH<sub>4</sub>) con una concentración de 0.4 M. Una vez que se ha realizado la mezcla de los NTC con el surfactante y el agente reductor, se procede a introducir en el horno de microondas. Se utilizó un Synthos 3000 de Anton Paar con las siguientes condiciones de operación: una rampa de calentamiento de 10 minutos para alcanzar 120 °C y 10 minutos de reacción a 120 °C y 15 minutos de enfriamiento a 600 Watts de potencia. Finalmente, las nanopartículas depositadas sobre los NTC se lavaron por centrifugación varias veces con una mezcla de cloroformo y etanol a 4000 rpm y se secaron a 120 °C durante 8 horas.

### *Remoción de arsénico*

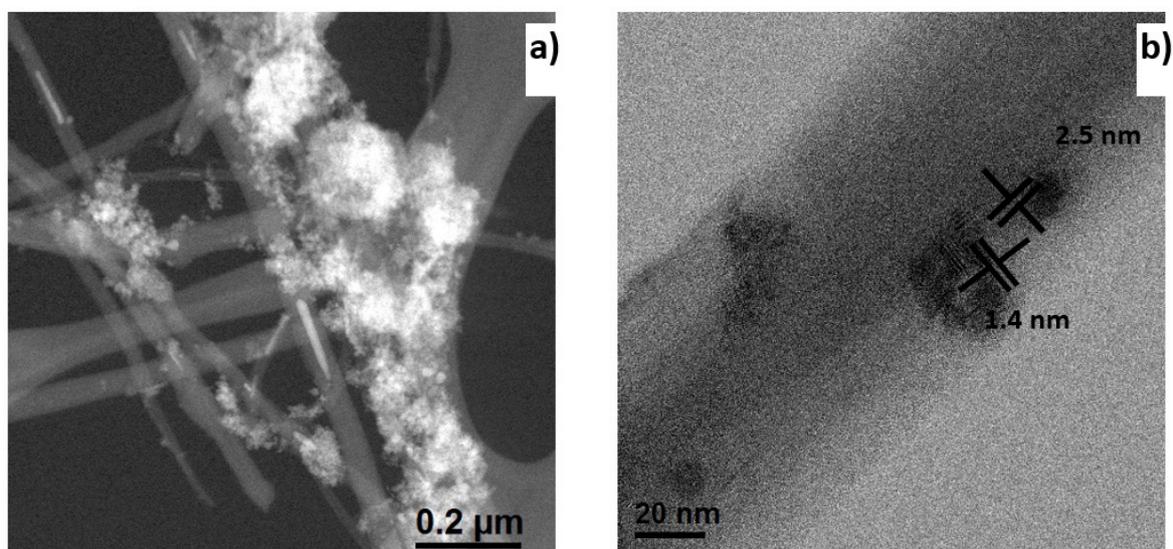
Para realizar la evaluación de la remoción de arsénico de una solución acuosa se utiliza un espectrofotómetro de absorción atómica, equipo AA-6200 de la marca SHIMADZU para determinar la concentración de arsénico en las muestras. Llevando a cabo cuatro experimentos; variando el adsorbente (Nanotubos de carbono y nanopartículas de hierro soportadas sobre nanotubos de carbono), con tiempos de retención de una y ocho horas para cada adsorbente.

Se mezclan NTC funcionalizados y nanopartículas de hierro soportadas sobre nanotubos de carbono (uno en cada vial) con una solución de trabajo de 100 ppm de  $\text{As}^{+3}$  y se deja en agitación magnética a temperatura ambiente para cada tiempo de retención evaluado. Posteriormente, se evalúa la concentración de las soluciones obtenidas mediante espectroscopia de absorción atómica.

## Resultados

### *Caracterización de las nanopartículas de hierro sobre los NTC*

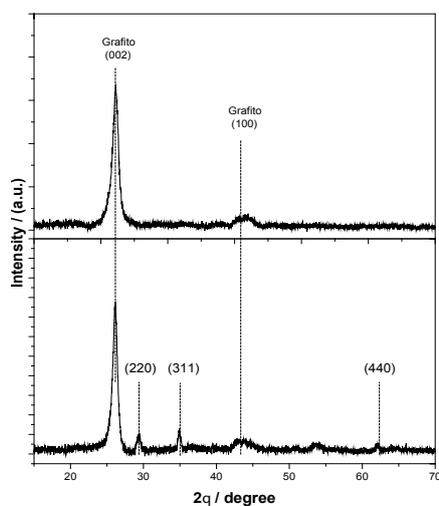
Microscopía electrónica de transmisión:



**Figura 1.** Microscopía electrónica de alta resolución (HR-TEM)

a) Baja magnificación, b) Alta magnificación de las nanopartículas de óxido de hierro depositadas sobre NTC.

Difracción de rayos X (XRD):



**Figura 2.** Patrones de difracción de rayos X (XRD) de a) NTC funcionalizados y b) Nanopartículas de óxido de hierro depositadas sobre NTC.

Se depositaron nanopartículas de óxido de hierro en forma de magnetita sobre NTC. En la Figura 1a se observa cómo se depositan partículas sobre la superficie de los NTC, y en la Figura 1b se midieron las distancias interplanares con valores de 1.4 nm y 2.5 nm, coincidiendo con los planos (440) y (311) de la magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). En la Figura 2a se observan los patrones de difracción de XRD de los nanotubos de carbono funcionalizados, donde se encontraron los picos ubicados en  $26.2^\circ$  y  $44.2^\circ$  que corresponden al grafito con los planos (002) y (100) respectivamente. En la Figura 2b se encontraron los picos de las nanopartículas de óxido de hierro depositadas sobre NTC ubicados en  $30.1^\circ$ ,  $35.0^\circ$  y  $62.5^\circ$  asignados a los planos (220), (311) y (440) respectivamente, lo cual confirma la formación de nanopartículas de óxido de hierro en forma de magnetita sobre los NTC (Downs *et al.*, 1993).

### Remoción de arsénico

**Tabla 1**  
Remoción de arsénico en ambos adsorbentes y distintos tiempos de retención

Tratamiento	Adsorbente	Tiempo de retención (h)	Remoción de arsénico (%)
1	NTC	1	48.37
2	NTC	8	52.02
3	$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{NTC}$	1	58.59
4	$\text{Fe}/\text{NTC}$	8	94.49

Se llevaron a cabo cuatro experimentos haciendo variar el adsorbente y el tiempo de retención. Se encontró que los NTC funcionalizados también tenían capacidad de remoción del  $\text{As}^{+3}$ ; sin embargo, al utilizar los NTC con la magnetita se incrementa esta capacidad, siendo su valor más alto (94.49 %) al utilizar ocho horas de retención.

## Conclusiones

Se lograron depositar de manera efectiva nanopartículas de magnetita sobre la superficie de NTC funcionalizados utilizando el método de microondas asistido. Se observa que se obtiene una mejor remoción de arsénico utilizando nanotubos de carbono decorados con nanopartículas de hierro, y a mayor tiempo, se obtiene mayor remoción.

## Bibliografía

- Andrade Guel, M. L., López López, L. I. y Sáenz Galindo, A. (2012). Nanotubos de carbono: Funcionalización y aplicaciones biológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 43(3), 9-18.
- Corredor, J. y Echeverría, F. (2007). Síntesis de óxidos de hierro nanoparticulados. *Scientia et Technica*, (36), 993-998.
- Lara-Romero, J., Calva-Yañez, J. C., López-Tinoco, J., Alonso-Nuñez, G., Jiménez-Sandoval, S. y Paraguay-Delgado, F. (2011). Temperature effect on the synthesis of multi-walled carbon nanotubes by spray pyrolysis of botanical carbon feedstocks: Turpentine,  $\alpha$ -pinene and  $\beta$ -pinene. *Fullerenes Nanotubes and Carbon Nanostructures*, 19(6), 483-496. <https://doi.org/10.1080/1536383X.2010.494785>
- Starbird-pérez, R., Montero-campos, V y De, V. S. (2015). Síntesis de nanopartículas magnéticas de óxido de hierro para la remoción de arsénico del agua de consumo humano. *Tecnología en Marcha*, 28(3), 45-54.
- Zhang, F. S. y Itoh, H. (2005). Iron oxide-loaded slag for arsenic removal from aqueous. *Chemosphere*, 60(3), 319-325.

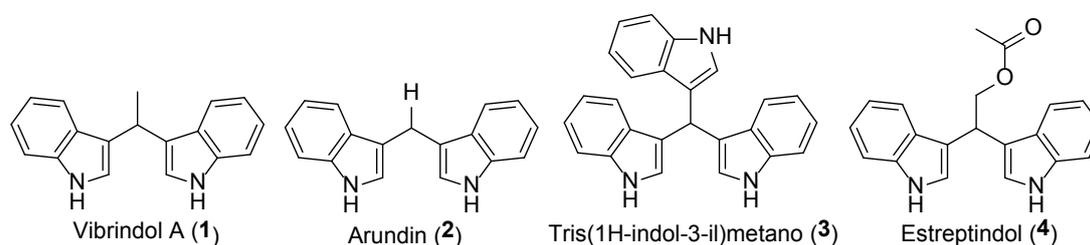
## Síntesis de bis(indolil)alcanos vía organocatalizadores

Rocío Huanosto Vázquez  
Juan Pablo García Merinos  
Rosa Elva Norma del Río Torres  
Yliana López Castro  
Heraclio López Ruiz

### Introducción

El aislamiento y síntesis bis(indolil)alcanos (BIMs) y sus derivados, constituyen un grupo importante de metabolitos bioactivos que exhiben un amplio espectro de actividades biológicas y farmacológicas (Bell, 1994). Estos han sido identificados en plantas, especies marinas y bacterias parasitarias. Comúnmente los BIMs se sintetizan a partir de dos moléculas de indol y un sustrato carbonílico, muchas de estas metodologías hacen uso de catalizadores costosos, condiciones drásticas de reacción, reactivos tóxicos, entre otros, por lo tanto, la búsqueda de métodos ecológicos alternativos para su síntesis es de continuo interés (Porter, 1997). En este sentido, el uso de tioureas como organocatalizadores es un área de reciente interés, debido a que es bien conocido que llevan la activación mediante interacciones no covalentes, convirtiéndolas en organocatalizadores versátiles por su disponibilidad para actuar como ácidos de Brønsted. Por lo anterior, en el presente trabajo se realizó la síntesis de tioureas simétricas, y se evaluó su actividad organocatalítica en la obtención de bis(indolil)alcanos (BIMs).

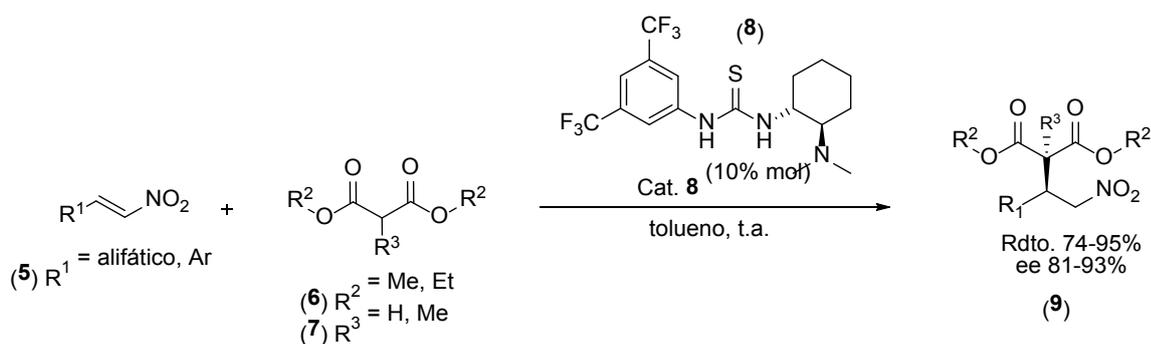
Los compuestos heterocíclicos derivados de indol son de importancia sintética debido a la variedad de aplicaciones en productos farmacéuticos, agroquímicos y propiedades biológicas (Sinha, 2008). Otros compuestos como los bis(3-indolil)metanos (BIMs) conteniendo el fragmento indol, presentan actividad antimicrobiana, antitumoral o antiviral, los cuales han sido aislados de fuentes naturales (Figura 1). Existen diversas metodologías para la síntesis de BIMs, la mayoría utilizando ácidos de Lewis y Brønsted, y catalizadores metálicos; sin embargo, muchas de estas metodologías hacen uso de catalizadores costosos, condiciones drásticas de reacción, reactivos tóxicos, entre otros. En este contexto, nuevos procedimientos han sido descritos considerando el impacto ambiental y económico, abriendo una nueva perspectiva de investigación basada en el uso de organocatalizadores. Un ejemplo de ellos son las tioureas que llevan a cabo la activación por puentes de hidrógeno bidentados, confiriéndoles la capacidad de actuar como ácido de Brønsted (Marqués, 2009) y contribuyendo con una nueva metodología en condiciones de reacción suaves.



**Figura 1.** BIMs obtenidos de fuentes naturales.

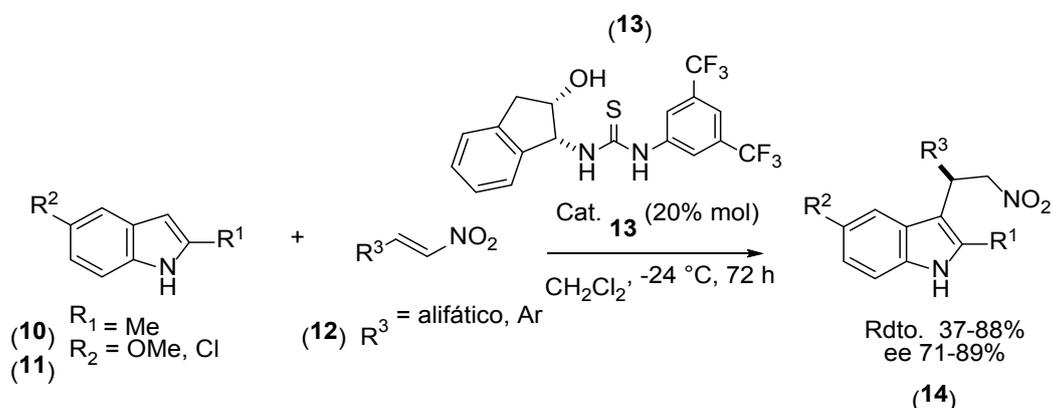
## Antecedentes

Takemoto y colaboradores (2003) reportaron la primera adición de malonatos a nitroalquenos de forma organocatalítica y enantioselectiva, empleando para ello la tiourea quiral **8** (Esquema 1). Obtuvieron buenos rendimientos y excesos enantioméricos, siendo los mejores resultados alcanzados a la fecha para esta reacción. Con esta tiourea, el grupo de Takemoto introdujo el concepto de catalizador bifuncional, de este modo, es posible controlar estereoselectivamente la aproximación de los sustratos en el espacio.



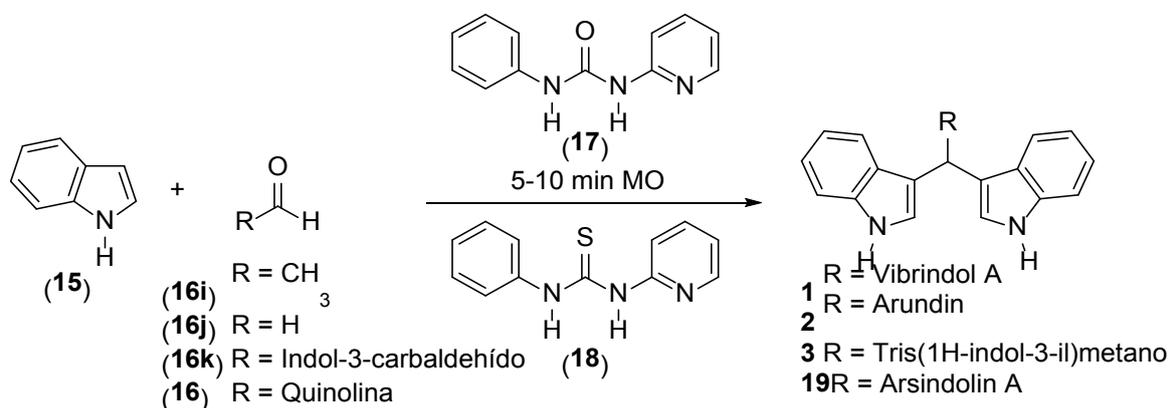
**Esquema 1.** Adición Michael de malonatos a nitroalquenos catalizada por la tiourea bifuncional **8**.

Por su parte, Ricci y colaboradores (2004) dieron a conocer el primer ejemplo organocatalítico de la reacción de adición de indol a un nitroalqueno, que puede considerarse una reacción de alquilación de Friedel-Crafts, ya que contribuye a la formación de enlaces carbono-carbono (C-C), en buenos rendimientos y excesos enantioméricos (Esquema 2).



**Esquema 2.** Alquilación de Friedel-Crafts de indoles **10-11** con nitroolefinas **12**, catalizada por la tiourea bifuncional **13**.

Recientemente, en nuestro grupo de trabajo (Rivas *et al.*, 2019) se reportó la síntesis del Vibrindol A (**1**), Arundin (**2**), Tris(1H-indol-3-il)metano (**3**) y Arsindolin B (**19**), mediante sustitución electrofílica Friedel-Crafts catalizada por tioureas bifuncionales (**17-18**), en calentamiento convencional y asistido por microondas. Este método ofrece ventajas como tiempos cortos (5-10 minutos) y se llevan a cabo sin disolvente con el uso de microondas (Esquema 3).



**Esquema 3.** Síntesis de BIMs vía organocatalizadores de tioureas bifuncionales **17-18**.

## Objetivos

- Realizar la síntesis de las tioureas **20-23**.
- Encontrar y optimizar las condiciones de reacción para llevar a cabo la reacción de Frie-

del-Crafts del indol (**15**) en presencia de los aldehídos **16a-k** (Tabla 2) y las tioureas **20-23**.

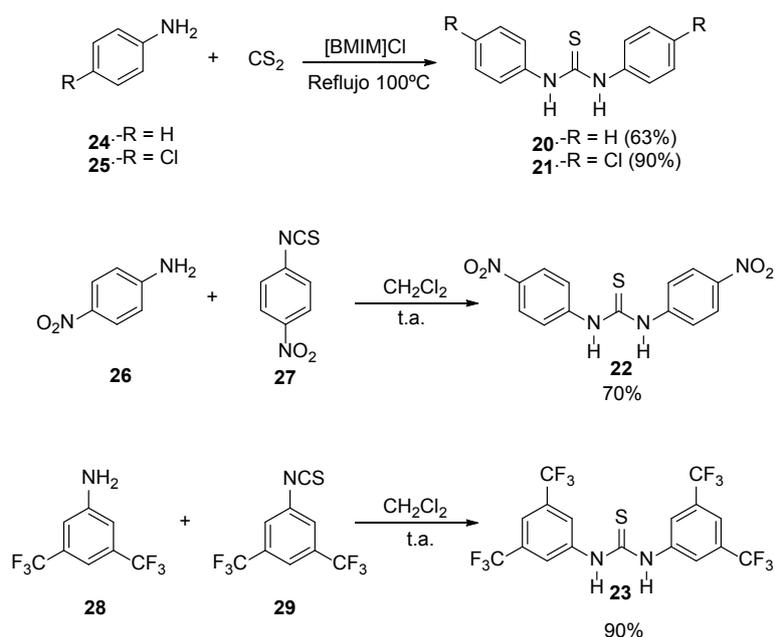
- Aplicar y evaluar la metodología desarrollada en la obtención de los BIMs **1-3** análogos a los naturales.
- Caracterizar los compuestos obtenidos mediante métodos espectroscópicos.

## Materiales y métodos

La asignación estructural inequívoca de los compuestos se realizó con ayuda de métodos espectroscópicos. Los reactivos se compraron de la casa comercial Sigma-Aldrich. El seguimiento de las reacciones se llevó a cabo por medio de cromatografía en capa fina (CCF) y la separación de los productos obtenidos se realizó mediante cromatografía en columna, empacadas con gel de sílice grado (70-230 Mesh).

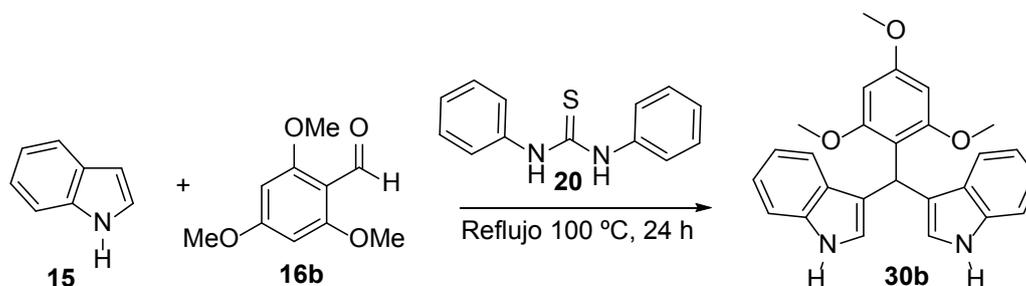
## Resultados y discusión

La preparación de las tioureas **20-21** se inició con la adición de las aminas **24-25** en presencia de disulfuro de carbono y [BMIM]Cl a reflujo (Esquema 4). Las tioureas **22-23** se obtuvieron mediante las anilinas **26** y **28** con los isotiocyanatos previamente preparados **27** y **29** en  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  a temperatura ambiente. Después de la purificación mediante cristalización y/o cromatografía en columna, los compuestos **20-23** fueron obtenidos en rendimientos que van del 63 al 90 %.



**Esquema 4.** Obtención de las tioureas **20-23**.

Para evaluar la actividad organocatalítica de las tioureas **20-23**, se inició con la reacción de Friedel-Crafts de indol (**15**) y 2,4,6-trimetoxibenzaldehído (**16b**) en presencia de la tiourea **20** (Esquema 5), esto con la finalidad de encontrar las mejores condiciones de reacción (% mol mínimo requerido) para posteriormente evaluar bajo estas condiciones, la actividad catalítica del resto de las tioureas **20-23** con el indol y los diferentes sustratos carbonílicos. En la Tabla 1 se muestran los resultados de los primeros ensayos, variando condiciones de reacción y % mol del catalizador, observando buenos rendimientos en el ensayo tres con 10 % mol del catalizador.

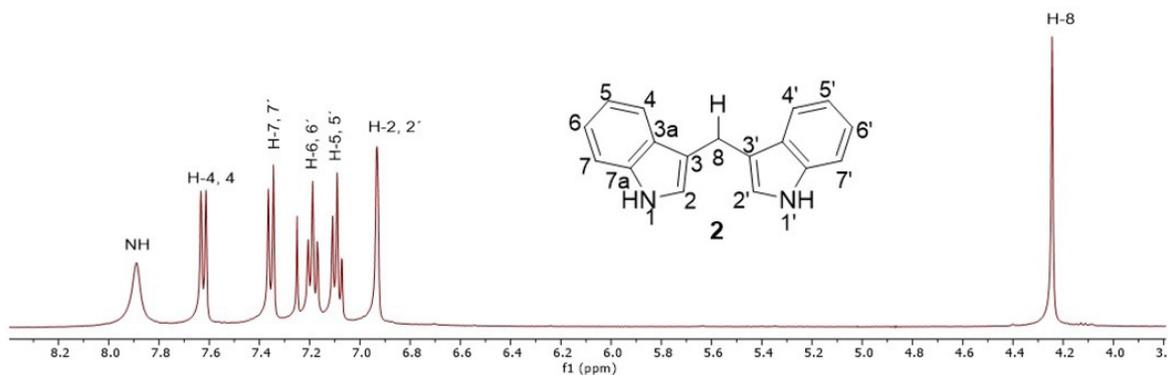


**Esquema 5.** Esquema general de las condiciones ensayadas con el catalizador **20**.

**Tabla 1**  
Condiciones de reacción ensayadas

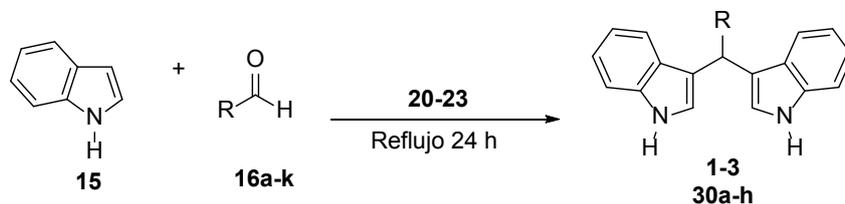
Ensayo	% mol del catalizador <b>20</b>	Temperatura (°C)	Tiempo Horas (h)	Rendimiento (%)
<b>1</b>	-----	-----	24 h	15 %
<b>2</b>	5 % mol	100 °C	24 h	45 %
<b>3</b>	10 % mol	100 °C	24 h	67 %
<b>4</b>	15 % mol	100 °C	24 h	47 %
<b>5</b>	20 % mol	100 °C	24 h	39 %

En la Figura 2 se muestra el espectro de RMN de  $^1\text{H}$  para el compuesto **2** en el cual se observa 7.9 ppm una señal simple ancha que corresponde para el hidrógeno del grupo amino, entre 7.62 y 6.90 ppm asignadas a los hidrógenos aromáticos y, por último, en 4.21 una señal simple asignada para el H-8.



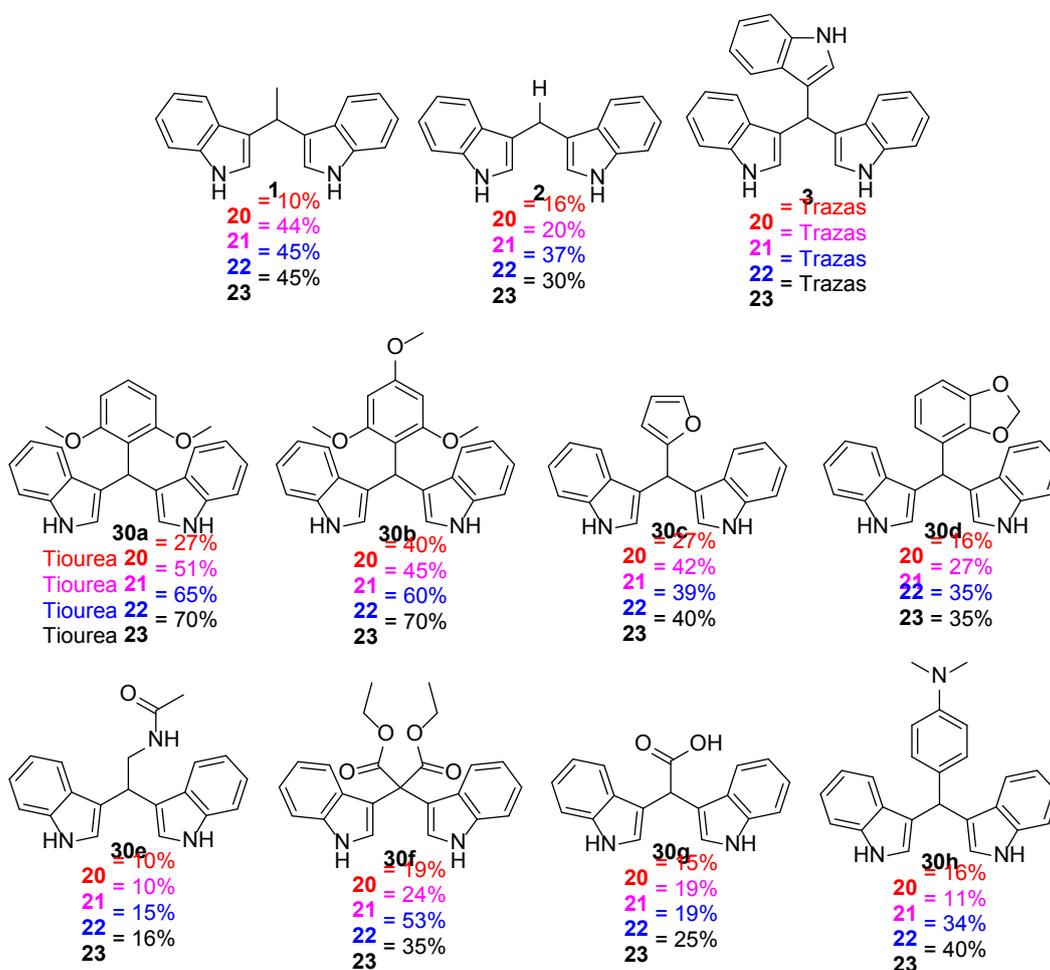
**Figura 2.** Espectro de RMN de  $^1\text{H}$  (400 MHz) de **2** en  $\text{CDCl}_3$ .

De acuerdo con los resultados de la tabla 1, se determinó que las mejores condiciones de reacción para la obtención del BIM **30b** son las que proceden como se indica en el ensayo 3. Dichas condiciones se utilizaron para la obtención de los BIMs **1-3** y **30a-h** utilizando las tioureas **20-23** y los compuestos carbonílicos **16a-k**. (Esquema 6)



**Esquema 6.** Metodología general para la síntesis de BIMs.

Tabla 2 Sustratos carbonílicos ( <b>16a-k</b> )			



Esquema 7. BIMs 1-3 y 30a-h vía organocatalizadores 20-23.

En el esquema 7 se muestran los rendimientos obtenidos de los BIMs bajo el método de calentamiento convencional. Se observa que las diariltioureas **22-23** catalizan la reacción de alquilación de F-C del indol, formando los BIMs (**30a-d**, **30f**, **30h**) en mejores rendimientos, en relación a los organocatalizadores **20-21**, esto se justifica debido a la mayor acidez de los hidrógenos de los grupos -NH para el caso de **22-23**, conteniendo grupos electroattractores sustituidos en posición *para* y *meta-meta*. La asignación estructural de los compuestos se realizó por comparación con los datos reportados.

Cabe destacar que estas reacciones han sido ensayadas bajo el método de calentamiento convencional, resultados anteriores en nuestro grupo de trabajo han demostrado que el uso de energías alternas como microondas, conlleva a un efecto significativo en los rendimientos, por lo cual, parte de este trabajo también será realizado bajo esta metodología

## Conclusiones

Las tioureas **20-23** se obtuvieron en buenos rendimientos vía dos metodologías. Los derivados **20-21** se prepararon mediante el tratamiento de las anilinas **24** y **25** con disulfuro de carbono y [BMIM]Cl, mientras que las tioureas **22-23** se obtuvieron a partir de la reacción de las anilinas **26** y **28** con sus derivados de isotiocianato **27** y **29**.

Se demostró la aplicación de las diariltioureas **20-23** como organocatalizadores en la reacción de tipo Friedel-Crafts (F-C) a partir de indol (**15**) con diferentes sustratos carbonílicos vía calentamiento convencional. Estos resultados representan el primer ejemplo de organocatalizadores de tiourea no bifuncionales en la obtención de bis(3-indolil)metanos, aportando una metodología en condiciones suaves de reacción y libre de metal.

## Referencias

- Bell, R., Carmeli, S. y Sar, N. (1994). Vibrindole A, a Metabolite of the Marine Bacterium, *Vibrio parahaemolyticus*, Isolated from the Toxic Mucus of the Boxfish *Ostracion cubicus*. *J. Nat. Prod.*, 57(11), 1587-1590.
- Dessole, G., Herrera, R. P. y Ricci, A. (2004). H-Bonding Organocatalysed Friedel-Crafts Alkylation of Aromatic and Heteroaromatic Systems with Nitroolefins. *Synlett.*, (13), 2374-2378.
- Marqués, L. E. y Herrera, R. P. (2009). El renacer de un nuevo campo: la Organocatálisis Asimétrica. Tioureas como organocatalizadores. *Anales de Química*, 105(1), 5-12.
- Okino, T., Hoashi, Y. y Takemoto, Y. (2003). Enantioselective Michael Reaction of Malonates to Nitroolefins Catalyzed by Bifunctional Organocatalysts. *J. Am. Chem. Soc.*, 125(42), 12672-12673.
- Porter, J. K., Bacon, C. W., Robbins, J. D. Himmelsbach, D. S. y Higman, H. C. (1997). Indole alkaloids from *Balansia epichloe*. *J. Agric. Food Chem.*, 25(1), 88-93.
- Rivas, L. J. A., Reyes, E. C. E., Lopez, Y., Rojas, L. S., García, M. J. P. y López, R. H. (2019). (Thio)urea-catalyzed Friedel-Crafts Reaction: Synthesis of Bis(indolyl)-methanes. *Lett. Org. Chem.*, 16(12), 959-968.
- Sinha, D., Tiware, A., Singh, S., Shukla, G., Mishra, P., Chandra, H., Mishra, A. (2008). Synthesis, characterization and biological activity of Schiff base analogues of indole-3-carboxaldehyde. *Eur. J. Med. Chem.*, 43(1), 160-165.

## **VI. Ingeniería y desarrollo**

## **Diseño de un tapial portátil, deslizable y de bajo costo para edificar viviendas en comunidades rurales marginadas**

Dominga Zuleica Chávez Pérez

José Ricardo Moreno Peña

José Fidel Navarro Arellano

Adolfo Robles Rojo

### **Introducción**

La utilización de la tierra cruda como material constructivo nace como respuesta a las necesidades de un espacio habitable de las antiguas civilizaciones. La construcción con tierra se ha empleado prácticamente en los cinco continentes, existiendo obras con más de 9000 años de antigüedad en Asia y Europa. Se estima que actualmente un tercio de la población en países en vías de desarrollo, conservan viviendas de tierra (Minke, 2012).

Existen diversas técnicas constructivas con tierra; sin embargo, la tapia es una de las más utilizadas. Entre los siglos XV y XIX, la tapia proliferó en Francia donde se le conoce como *Terre Pisé*; actualmente existen viviendas habitadas con más de 300 años de antigüedad en ese país. Otro ejemplo es el hallazgo de cimientos de tierra apisonada en Asiria que datan desde el siglo 5000 a. C (Minke, 2005). La tapia, en comparación con otros sistemas constructivos a base de tierra como el adobe, brinda mayor resistencia ya que se construye monolíticamente (Minke, 2005).

Principalmente, la tapia es la construcción de muros de tierra apisonada obtenida del lugar donde se lleva a cabo la edificación de las viviendas, esta es humedecida y apisonada en capas de 10 hasta 15 cm de espesor (Minke, 2005) dentro de un molde llamado tapial. De acuerdo con el «Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada», se conforma de dos tablones de madera de 2 m de largo por 1 m de alto y dos compuertas del ancho del muro, pero estas especificaciones pueden variar según la región. En el documento de «Construcción de muros de tapia y bahareque» (Minke, 2005), se hace referencia a las características de los elementos que conforman un tapial, las tablas deberán ser lisas de superficie homogénea y machihembrada para ensamblar sostenidas por medio de montantes. Se colocan compuertas en los extremos del molde utilizando trozos de madera rolliza arriostrados con madera dura y resistente.

Según López (1997), un tapial se forma por un tablero de madera de varias tablas de 3 cm de grosor colocadas horizontalmente unidas con barrotes verticales de madera clavados al exterior. Las medidas deben ser las adecuadas para que permita el desplazamiento entre dos o tres personas, la altura debe ser compatible con el apisonamiento dentro de la caja quedando el canto superior por debajo del codo de una persona de estatura promedio, generalmente las medidas pueden ser entre 1 x 2 m y 1 x 3 m.

Por otra parte, Torres (2011) define al tapial como una unión de tres tablas longitudinales con una altura de 0.85 m de largo de 2.45 m y espesor de las mismas de 0.025 m, unidos con palos verticales colocados a cada 0.20 m. El perímetro se confina en un marco de acero para darle firme-

za y sujetar las tablas mediante clavos. Cuenta con hendiduras a los extremos las cuales coinciden en cada tabla para facilitar el movimiento y al centro se colocan huecos para facilitar su agarre.

Según Lacoste y colaboradores (2012), los tapiales se arman con moldes o encofrados. En la actualidad, al menos en Putaendo, se usan moldes de 0.50 m de espesor, 0.90 m de largo y 0.80 m de altura, considerando cinco elementos importantes: un par de cimbras laterales, un par de compuertas y un pión, donde los tapiales definen el largo y las compuertas el espesor del muro. Por otro parte, la norma peruana NTE E.080 menciona en el artículo 13 que las unidades de tapial deben tener las siguientes dimensiones: ancho mínimo 0.40 m, altura máxima 0.60 m, longitud máxima 1.50 m, y el espesor mínimo de la madera de encofrado 20 mm, con refuerzos exteriores horizontales y verticales para evitar deformaciones excesivas.

Aunque lo más común es el uso de encofrados de madera, estos pueden ser sustituidos por algunos moldes metálicos. De acuerdo con la información de Paz-Jáuregui (2014), los encofrados metálicos se fabrican en una planta con herramientas y materiales especializados los cuales pueden ser transportados al sitio para su posterior colocación, lo cual contribuye a un control de calidad durante el proceso de fabricación, pero generalmente son utilizados para la construcción de muros de concreto armado.

En el grupo PERI (2020) —dedicado a la fabricación y distribución de diversos sistemas de cimbras metálicas para concreto, los cuales también pueden ser utilizados para la construcción de viviendas de tierra—, uno de los tipos de cimbra que manejan y que mejor se adecua a una construcción con tierra es el denominado DOMINO, el cual por su ligereza permite la recuperación de elementos, facilita su colocación, logra uniones alineadas y enrasadas; sin embargo, es indispensable la utilización de una grúa para su colocación, en caso de no contar con ella, se puede optar por la opción de aluminio. En la Figura 1 se pueden observar los elementos que componen la cimbra y su colocación.



**Figura 1.** Ejemplo de colocación de cimbra metálica (PERI, México, 2020).

Otro ejemplo es el DUO, sistema de paneles modulares que reducen el peso y facilitan el manejo para cimbrar esquinas y columnas, es un sistema ideal para los principiantes en manejos de cimbras metálicas. La ventaja de los encofrados metálicos es su uso modular y la utilización en diversas ocasiones sin necesidad de realizar reparaciones; sin embargo, el costo en comparación a un encofrado de madera es mucho mayor, por lo que solo se justifica su uso en proyectos grandes. Las dimensiones de un encofrado metálico pueden variar de acuerdo con las características de la construcción.

La tapia ha generado un interés entre constructores que aprovechan su valor arquitectónico, estético y ecológico, utilizando los medios actuales de edificación para vivienda, principalmente residencial, debido a que se ha logrado mejorar los sistemas constructivos mediante la implantación de materiales, refuerzos estructurales, estudios de los comportamientos térmicos y físicos (Minke, 2005).

Como ejemplo de construcción de tapia está la empresa Ramed Earth Enterprises, la cual se ha dedicado a construir con tierra desde 1980, incluyendo entre sus proyectos locales comerciales, viviendas y paisajismo, utilizando encofrados y equipos especializados (Figura 2) para crear paredes térmicamente eficientes y de alta calidad, demostrando que la construcción con tierra no es sinónimo de pobreza, al contrario, debido a sus propiedades este material ha tomado un importante papel dentro del diseño arquitectónico al ser combinado con elementos estructurales y detalles estéticos.



**Figura 2.** Colocación de sistema metálico para la construcción de muros (Ramed Earth Enterprises, 2020).

PROTERRA, una red internacional dedicada a la capacitación técnica y científica en el ámbito Iberoamericano, se encarga de promover y generar el conocimiento del uso de la tierra en el ámbito de la arquitectura y la construcción, principalmente fijos en asentamientos de viviendas de zonas rurales y urbanas para contribuir —como mencionan en el Capítulo I, Art. 2 de sus estatutos— «a la promoción del desarrollo sustentable, desde un enfoque integral, que considera los ámbitos social, ambiental, científico, técnico, cultural, económico y la participación de la sociedad civil» (PROTERRA, 2020).

Si bien los tapiales propuestos por López Martínez (1997) suponen encofrados que oscilan entre los 0.85 y 1 m de altura y de largo entre 2 y 3 m, Lacoste y colaboradores (2012) y la norma NTP E.080 especifican que las dimensiones de las unidades de tapial deberán ser entre 0.60 y 0.80 m de altura y 0.90 a 1.50 m de largo respectivamente; igualmente, podemos mencionar las medidas de tapiales tradicionales en diferentes países iberoamericanos según Habitierra y Cyted (2003), por ejemplo, en Argentina el ancho promedio es de 0.50 m, 0.70 m de alto y 1.20 m de largo, en Bolivia el ancho de muro deseable es de 0.30 m con una altura de 0.60 m y un largo de 1.20 m, Ecuador maneja una dimensión de muro de 0.50 m, 1.00 m de alto por 2.00 m de largo. De la misma forma, observamos que los materiales a emplear en la mayoría de estos encofrados es la madera, resultando su operación un procedimiento artesanal de poca eficiencia además de reducir su vida útil.

Por otra parte, el uso de los tapiales en la vivienda residencial, en las últimas décadas, ha tomado auge por lo que demanda encofrados de grandes dimensiones que requieren para su fabricación materiales metálicos reforzados, resultando con ello elementos muy costosos y pesados que para su operación requieren equipos y mano de obra especializada.

## Materiales y métodos

### Recuperación de documentación

Se realizó una recuperación y análisis de patentes sobre encofrados existentes; sin embargo, los hallazgos significativos son aplicados principalmente a moldes para concreto. Los encofrados modulares están constituidos por elementos normalizados y prefabricados que son muy útiles en obras de gran volumen y que tienen secciones de formas repetitivas (Martínez *et al.*, 2019, p. 3), por lo que se propone el diseño de un molde con restricciones que forma un encofrado para muros rectilíneos utilizando formaletas modulares (Figura 3).

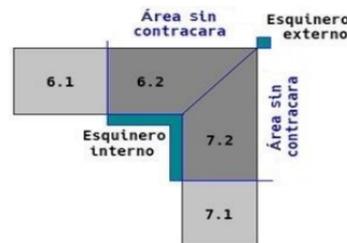
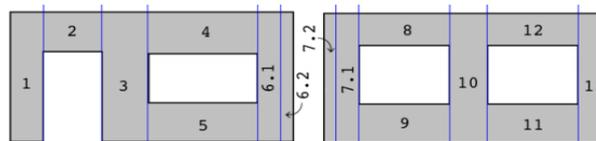
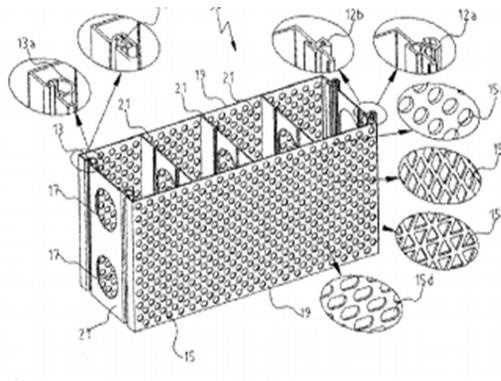


Fig. 4. Vista superior de una intersección de muros en L. 6.2 y 7.2 generan rectángulos que no tienen contracara. Fuente: elaboración propia.



**Figura 3.** Encofrados modulares (Martínez *et al.*, 2019).

Una propuesta de sistema constructivo modular de moldeo con cimbra o encofrado permanente para concreto u hormigón armado orientado a la industria de la construcción de edificios, incorpora una serie de elementos principales, a saber: a) Elementos estructurales planos para la formación de paneles, b) Elementos de esquina, c) Elementos conectores entre los elementos planos, y d) Elementos auxiliares transversales de sección rectangular que se sitúan adyacentes a los paneles. Cada uno de ellos dispone, en al menos uno de sus cantos o extremos, un riel longitudinal y en el extremo opuesto dispone de al menos un contra-riel de manera que puedan conectarse con elementos adyacentes (Alcalá, 2012, p. 2).



**Figura 4.** Sistema constructivo modular de moldeo con cimbra o encofrado permanente (Alcalá, 2012).

Torres (2002) y Godoy (2004) realizaron un estudio sobre la construcción de viviendas con tierra en el estado de Colima, utilizando las técnicas del adobe y el tapial con el desarrollo una cimbra deslizable; sin embargo, en la propuesta se emplean rieles horizontales que impiden el desplazamiento y las maniobras en las esquinas o intersecciones de muros, y sus dimensiones solo permiten generar pequeños bloques de tierra que no sobrepasan 1.10 m de largo por 0.40 de alto. Tal propuesta se convierte en una solución poco práctica para la edificación de viviendas. En la Figura 5 se puede observar la configuración de la cimbra propuesta por los autores.



**Figura 5.** Cimbra deslizable (Torres, 2002; Godoy, 2004).

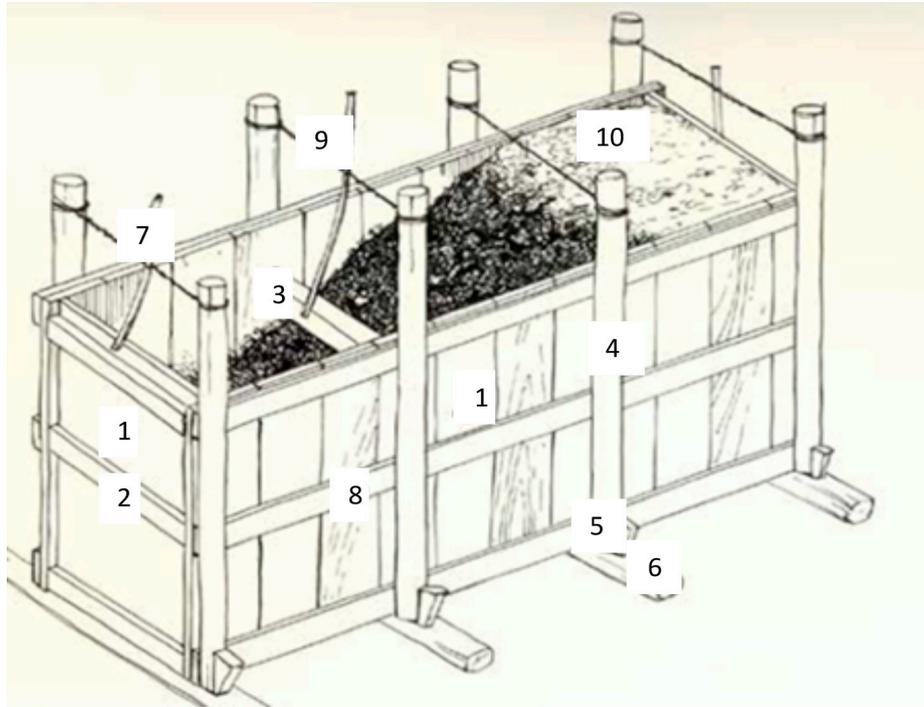
En general, los resultados de las patentes e investigaciones similares encontradas son referentes a encofrados o cimbras utilizadas para la construcción con concreto armado, lo cual se tomó como referencia para la realización de una propuesta de cimbra metálica específicamente utilizada para la construcción de viviendas de tierra sin dejar de lado lo existentes y lo enteramente mencionado por diversos autores expertos en la materia.

#### *Comparación entre tapial de madera y metálico*

El Tecnológico Nacional de México, Campus Colima, a través de la Maestría en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana (MASGU), busca contribuir con el desarrollo sostenible de la sociedad, por lo tanto, el uso de tierra cruda como material constructivo puede ayudar a las comunidades rurales con algún grado de marginación, principalmente dentro de los municipio de Comala, al norte del estado de Colima, donde se identifican actualmente 26 localidades con algún grado de marginación de acuerdo con el plan municipal de desarrollo 2018-2021. La marginación involucra diversos factores como la estructura productiva de la región y la exclusión de algunos grupos sociales en el aprovechamiento del pleno desarrollo.

De acuerdo con el Consejo Nacional de Población (CONAPO), la marginación dentro de un grupo social se mide a través de indicadores como educación, salud, distribución de la población, ingresos y vivienda. Tal como lo establece el Art. 4 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos: «Toda familia tiene derecho a disfrutar de vivienda digna y decorosa. La ley establecerá los instrumentos y apoyos necesarios a fin de alcanzar tal objetivo». Esta premisa motivó la realización de una herramienta que permita a los habitantes de las comunidades edificar su vivienda a bajo costo, utilizando la tierra que se encuentra en el sitio. El diseño del tapial deslizable cuenta con elementos metálicos para darle rigidez y se utiliza la madera como elemento principal de un encofrado tradicional.

Según Cárdenas y Sarmiento (2017), el tapial se compone de diez elementos básicos: 1) Compuerta, 2) Codal, travesaño o separador, 3) Travesaño, 4) Paral, 5) Cuña o egión, 6) Aguja o agujetero, 7) Cortado, 8) traviesa, 9) Tortolo, y 10) Relleno de tierra que se apisona (Figura 6).



**Figura 6.** Esquema de los elementos de un tapial tradicional (Cárdenas y Sarmiento, 2017).

La fabricación de un tapial de madera tradicional se puede diseñar de tal manera que permita realizar las maniobras de apisonamiento de la tierra, incluso la persona puede colocarse dentro del mismo molde al iniciar las primeras capas. Sin embargo, los materiales utilizados para su fabricación son maderas que generalmente no tienen ningún tratamiento para prevenir su deterioro con el agua utilizada, incluso solo pueden ser utilizados para un par de viviendas.

A continuación se presenta el costo de fabricación de un tapial de manera, tomado como referencia las medidas de 0.30 m de ancho, 0.60 m alto y 1.20 m de largo, fabricado con madera encontrada comúnmente en el mercado, tabla de 0.30 cm de ancho por 3 m de largo, barroses de madera de 2 plg, clavos de 2 plg. para madera y alambre.

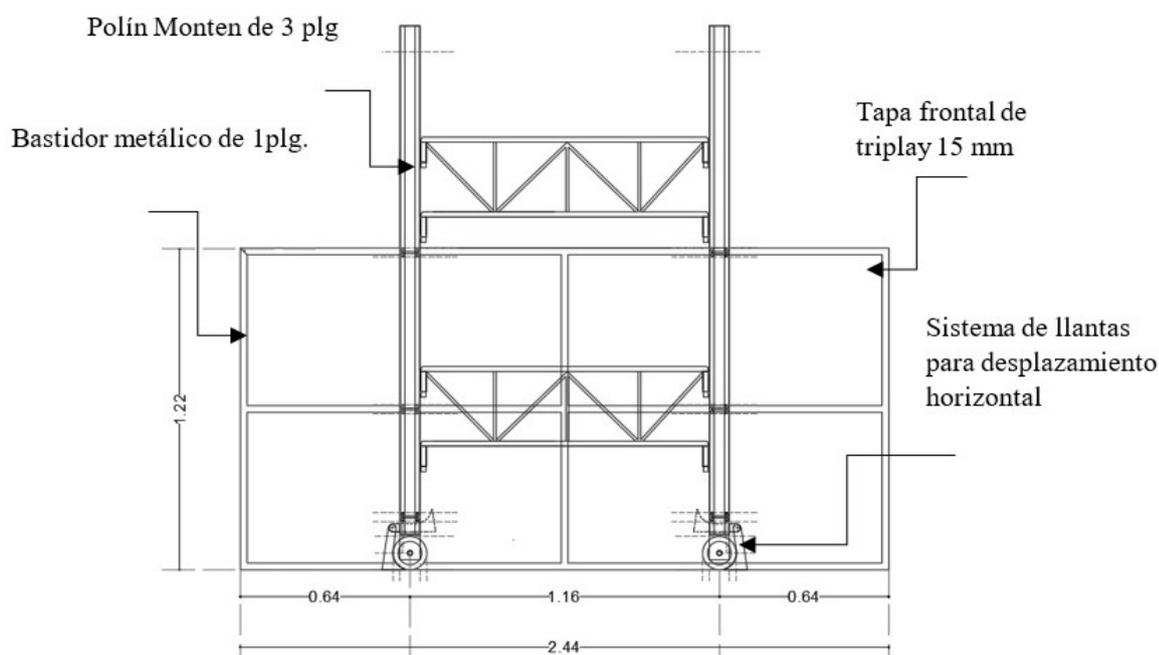
- Cuatro tablas para las caras laterales y frontales con un costo de \$ 120.00 cada una.
- Cuatro barroses para los travesaños verticales y horizontales para formar el marco con un costo aproximado de \$ 160.00 cada uno.
- Medio kilogramo de clavos para madera con un costo de \$ 25.00 y medio kilogramo de alambre recocado con un costo de \$ 15.00.
- Mano de obra \$ 1,000.

Sumando un total de \$ 2,170 pesos mexicanos a la fecha de realización de este documento. El costo monetario es muy accesible; sin embargo, el deterioro de la misma madera por el uso y los tiempos de colocación hace que se incremente el precio inicial, ya que se debe de cambiar cada vez que esta sufre algún daño significativo y ya no se pueda seguir utilizando de manera óptima en la construcción de tapiales.

Mientras que para un encofrado metálico se considera un costo aproximado a la venta de \$ 8,323 considerando un módulo igual al anterior; no obstante, los paquetes de cimbra existentes en el mercado ascienden a los \$ 224,734, dependiendo del modelo, tipo de material con el que es fabricada la cimbra y las dimensiones, lo cual representa una inversión que supera las capacidades económicas de la población en condiciones de marginación que deseen construir su vivienda.

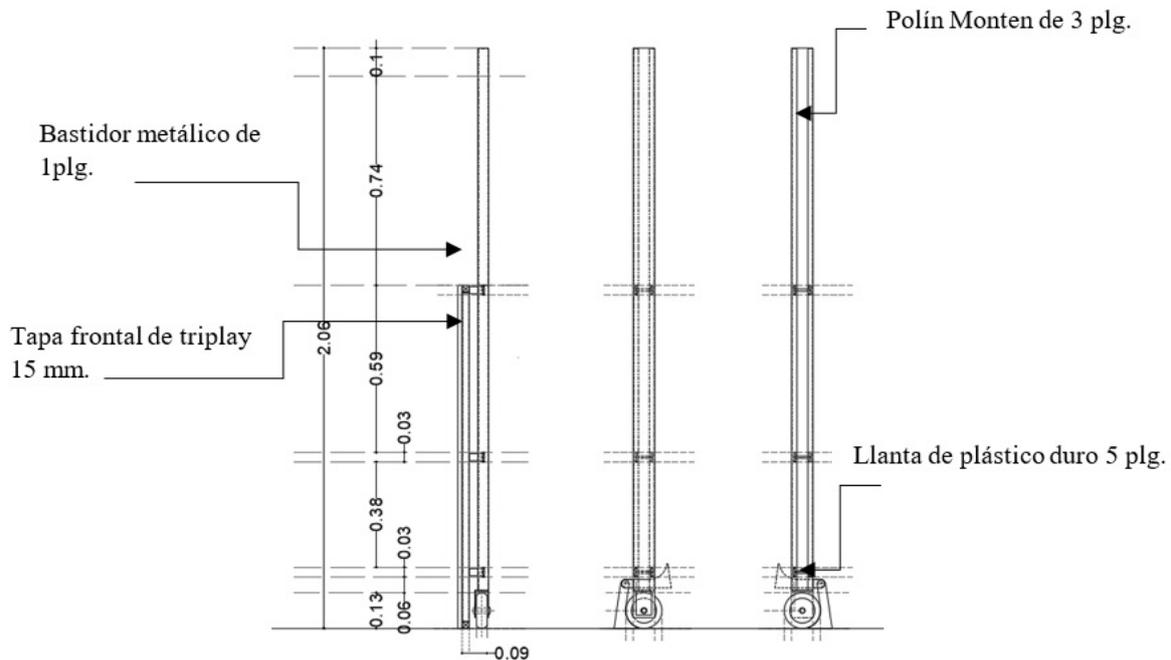
#### *Requerimientos y materiales para la propuesta del tapial deslizable*

El molde se compone de dos tapas laterales y dos frontales fabricadas con hojas de triplay de 15 mm reforzadas con un bastidor metálico de perfil cuadrado, el desplazamiento vertical se logra a partir de un sistema de rieles retráctiles de polines monten, que permiten incrementar su altura de 2 a 3.50 m, con baleros adosados a las tapas frontales, mientras que el desplazamiento horizontal sobre la superficie de trabajo se consigue con llantas de plástico macizo. El diseño contempla rigidizar el sistema de rieles mediante armaduras portátiles fabricadas con redondo. En la Figura 7 se observa la composición de una cara frontal del tapial y sus elementos básicos.



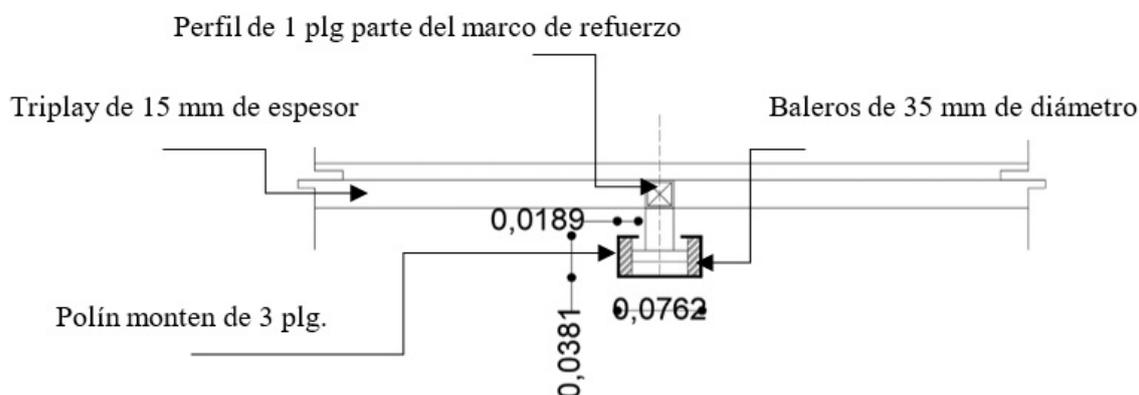
**Figura 7.** Vista frontal del tapial deslizable (Elaboración propia de los autores, 2020).

Para lograr el desplazamiento vertical de tapial se requiere colocar cuatro polines monten de 3 x 1 ½ plg, dentro de los cuales se coloca un sistema de baleros dobles de 35 mm de diámetro soldados al marco de acero de 1 plg que soporta el triplay de 15 mm. Para incrementar la altura del elemento de 2 m a 3.50 m, se colocó un refuerzo metálico que permite ensamblar el resto de la estructura. En la Figura 8 se observa la composición del polín y su integración con el resto de la estructura.



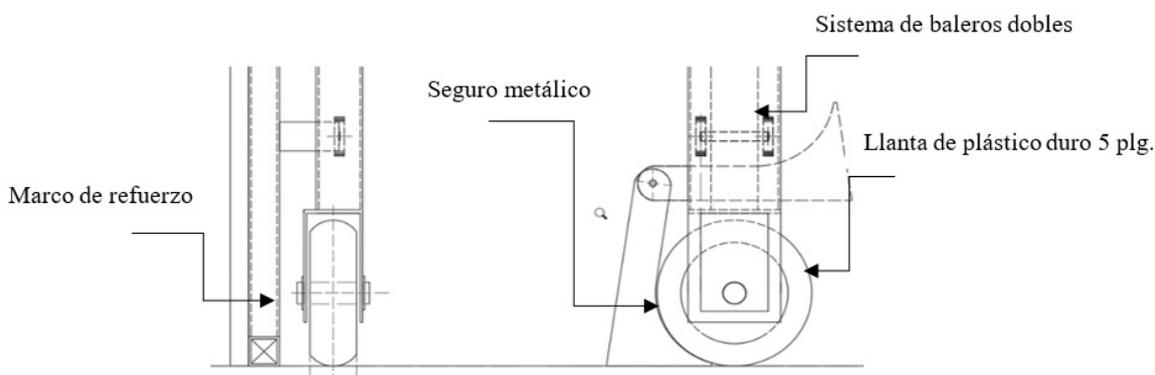
**Figura 8.** Vista lateral, frontal e interior del polín monten para desplazamiento vertical del tapial (Elaboración propia de los autores, 2020).

En la Figura 9 se observa un detalle del sistema de baleros dobles de 35 mm de diámetro que permiten el desplazamiento dentro de cada uno de los polines, para ello es necesario colocar tres juegos de baleros por cada poste vertical debidamente soldados al marco de acero que rigidiza la hoja de triplay.



**Figura 9.** Sistema doble de baleros para desplazamiento vertical en dentro de los polines (Elaboración propia de los autores, 2020).

Para el desplazamiento horizontal se propone un sistema de llantas de plástico duro de 5 plg de diámetro por 1 ½ plg de ancho, cuenta con un freno de metal adosado a la parte inferior del riel que impide el movimiento del tapial cuando se encuentra en uso. En la Figura 10 se muestran las vistas lateral y frontal de la llanta, así como los elementos que la componen.



**Figura 10.** Vista frontal y lateral del sistema de llantas para desplazamiento horizontal (Elaboración propia de los autores, 2020).

## Resultados

Hasta el momento se han obtenido los planos técnicos los materiales y medidas para facilitar la fabricación de un tapial deslizable con especificaciones, así como una maqueta a escala 1:18 de tapial

deslizable, para la cual se utilizó madera de 1 mm de espesor, canaletas de plástico para representar los polines monten y armadura fabricada con espaguetis, así como llantas de coche de juguete para lograr el desplazamiento horizontal. En las figuras 11, 12 y 13 se muestran los resultados de la maqueta.



**Figura 11.** Vista frontal de la maqueta a escala del tapial deslizable.



**Figura 12.** Maqueta a escala del tapial deslizable.



**Figura 13.** Deslizamiento vertical de maqueta de tapial deslizable.

Se realizó una prueba de compactación de tierra negra humedecida dentro del molde para generar una sección de muro de tierra. Tomando como referencia una proporción de escala, se colocaron capas de tierra de aproximadamente 3 cm y se compactaron hasta obtener una altura considerable y poder así deslizar el molde verticalmente. En las figuras 14 y 15 se observan los resultados de la prueba.



**Figura 14.** Prueba de compactación de tierra dentro de la maqueta escala 1:18.



**Figura 15.** Prueba de compactación de tierra dentro de la maqueta escala 1:18.

Se realizó un análisis de costos de la fabricación a escala 1:1 del tapial deslizante, para lo cual es necesario utilizar materiales metálicos y de madera enlistados en la Tabla 1. Se pudo identificar la relación existente entre el costo beneficio de la utilización de esta herramienta para la fabricación de viviendas de tierra, y se considera que la inversión económica es considerable; asimismo se garantiza la duración de la estructura con el debido mantenimiento y la reducción de los tiempos de maniobra para la colocación de las cimbras.

**Tabla 1**  
Análisis de costos de un tapial deslizante.

MATERIAL	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Polin Monten estructural de 3" calibre 14	3	\$ 389.50	\$1,168.50
PTR de 1"	5	\$ 357.60	\$1,788.00
Redondo de 3/8"	2	\$ 69.00	\$138.00
Triplay de 15 mm	3	\$ 470.00	\$1,410.00
Riel 1500	3	\$ 561.50	\$1,684.50
Balero de 34"mm de diametro	12	\$ 50.60	\$607.20
Esparrago de 3/4"	2	\$ 315.50	\$631.00
Mano de obra	1	\$ 7,000.00	\$7,000.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$14,427.20</b>

*Nota: Esta tabla muestra la relación de la cantidad y el costo de cada material para la fabricación del tapial deslizante.*

## Conclusiones

Uno de los mayores beneficios de la construcción con tierra cruda, específicamente la tapia, es la obtención de los materiales directamente del entorno natural, los costos de inversión, las características térmicas de la vivienda, dando solución a las necesidades físicas y sociales de comunidades en situación de marginación. Pese a los antecedentes y de acuerdo con Minke (2005), se ha reemplazado por nuevos materiales constructivos como los ladrillos cocidos y el concreto; sin embargo, en los últimos años se ha retomado la utilización de este material como alternativa para la edificación de viviendas debido a sus múltiples beneficios ambientales, sociales y económicos.

En el estado de Colima se localizan algunas comunidades y sectores sociales vulnerables que carecen de una vivienda digna, con lo cual se incumple lo estipulado en el Art. 4 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Con el propósito de generar un proyecto de construcción de viviendas a bajo costo, se propone utilizar la tierra del sitio para la edificación de las viviendas de tapial como una opción de edificación sostenible, adecuada a las necesidades de cada región.

Los encofrados tradicionales pueden resultar más económicos, debido a que la demanda de materiales es menor; no obstante, los tipos de maniobra se incrementan, es necesario desmontar los elementos y colocar de nuevo en cada una de las secciones, sumando el deterioro de los materiales. Por otra parte, las cimbras metálicas pueden ser la solución en cuanto a durabilidad y resistencia, pero los costos se incrementan, por lo que es necesario contar con una cantidad considerable de viviendas para costear la compra de las mismas.

El tapial deslizante se presenta como una innovación a bajo costo, tomando como referencia el concepto básico de un tapial tradicional, con la resistencia y durabilidad de uno metálico, incorporando materiales de ambos con una inversión accesible en comparación a una cimbra metálica, incrementando así la durabilidad del material y favoreciendo la disminución de los tiempos de maniobra durante la fabricación de los muros de tapia.

## Referencias

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2001). *Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada*. Colombia, FOREC.
- Cárdenas, A. A. y Sarmiento, J. I. (2017). El tapial alivianado [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Cuenca Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Cuenca, Ecuador.
- Consejo Nacional de Población. (2013). *Índice absoluto de marginación 2000-2010*. México. [http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Resource/1755/1/images/IAM\\_00-04.pdf](http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Resource/1755/1/images/IAM_00-04.pdf)
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [Const]. Art.4. 20 de abril de 2001, México.
- Godoy, A. (2004). *Cimbra deslizante para compactar muros de tierra*. Memoria de Residencia Profesional, Instituto Tecnológico de Colima, Colima, México.

- Gómez, M. H. (2005). Construcción de muros de tapial y bahareque. *Albanilería en Restauración de Edificaciones*, 7, 12-25. [https://repositorio.sena.edu.co/sitios/albanileria\\_restauracion\\_edificaciones/construccion\\_muros\\_tapia\\_bahareque.html](https://repositorio.sena.edu.co/sitios/albanileria_restauracion_edificaciones/construccion_muros_tapia_bahareque.html)
- Habiterra, R. y Cytred, X. I. V. A. (2003). *Arquitecturas de Tierra en Iberoamérica*. Buenos Aires, Impresiones Sudamérica.
- Jaquin, P. A., Augarde, C. E. y Gerrard, C. M. (2008). Chronological Description of the Spatial Development of Rammed Earth Techniques. *International Journal of Architectural Heritage*, 2(4), 377-400. <https://doi.org/10.1080/15583050801958826>
- Lacoste, P., Premat, E., Castro, A., Soto, N. y Aranda, M. (2012). Tapias y tapiales en Cuyo y Chile (Siglos XVI-XIX). *Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural*, 25(2), 182-199.
- López Martínez, F. J. (1997). Tapias y Tapiales. *LOGGIA*, 8, 74-89.
- Martínez, C. A., Díaz, J. F. y Duque, R. (2019). Diseño del encofrado para muros usando encofrados modulares. *Tecnológicas*, 22(2019), 1-18. <https://doi.org/10.22430/22565337.1509>
- Minke, G. (2005). *Manual de construcción en tierra. La tierra como material de construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual*. Uruguay, Fin de Siglo.
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (20 de marzo de 2014). Sistema constructivo modular de cimbra o encofrado permanente multiperforado para concreto u hormigón armado. Inventor: R. Alcalá Ordaz. México, Número de Publicación Internacional: WO 2014/042502 A1.
- Paz, J. (2014). *Diseño de un sistema de encofrados metálicos para la fundición de los pilares de un puente empleando software CAD/CAE* [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, Programa Académico de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Piura, Perú.
- PERI México. <https://www.peri.com.mx/>
- Rammed Earth Enterprises. <https://www.rammedearthenterprises.com.au/>
- Torres, O. H. (2011). *El legado cultural de La Mancha Húmeda (Alto Guadiana): selección de intervenciones para el estudio, protección y puesta en valor del patrimonio histórico. Prehistoria-Edad Contemporánea. In Tierra de cultura: I Curso de Historia Argamasilla de Alba y Alto Guadiana Mancha*, España, Los Académicos de la Argamasilla.

## **El papel de la mecánica de rocas en la prevención de accidentes en grandes obras de ingeniería**

Benito Ricardo Marín Herrera  
Víctor Manuel Quezada Aguilera  
Federico Vogel González

### **Introducción**

A lo largo del desarrollo de la humanidad, inclusive antes de la invención de la escritura, el ser humano ha demostrado su habilidad para modificar las condiciones naturales del terreno para edificar diversos tipos de obras, muchas veces justificadamente para atender alguna necesidad específica (acueductos, canales y obras para facilitar el transporte terrestre). Otras veces, por el simple hecho de demostrar poder, por ejemplos, las grandes pirámides construidas en diversas partes del mundo por las antiguas civilizaciones, como la Egipcia (la más antigua data de hace más de 4,600 años, cronología de Jürgen von Beckerath, descrita en Vidal Manzanares, 1998) o la Teotihuacana hace más de 1,400 años (Millon, 1966). Los romanos se destacaron como constructores de magníficas obras de ingeniería entre las que destacan los acueductos construidos hace más de 2,300 años. (Da Feo *et al.*, 2007).

Es evidente que para construir tales obras se modificaron las condiciones naturales de los terrenos respectivos, fue necesario extraer los materiales para construcción de canteras o minas y fue necesario aplicar diversas técnicas y conocimientos que si bien hoy podríamos calificar como empíricos, lo cierto es que ya se estaban forjando los cimientos de diversas ciencias y disciplinas relacionadas con la ingeniería, como la física (mecánica, hidráulica), la geología, la petrología, la topografía y la mecánica de rocas. Hoy en día, los seres humanos tenemos más necesidades que implican la modificación de las condiciones naturales del terreno, como grandes túneles ferroviarios, enormes presas, largas carreteras que incluyen túneles, puentes y excavaciones en roca; requerimos también de minerales como materias primas primordiales y esto implica el desarrollo de grandes minas.

Es un hecho que para atender todas estas necesidades se requiere de ingenieros, ya no con conocimientos empíricos como en la antigüedad, sino formados o educados con base en las ciencias respectivas, que tengan los conocimientos y habilidades necesarias para destacarse en la construcción de grandes obras y operar grandes minas, de tal forma que todas las actividades relacionadas con la ejecución de excavaciones se realicen con técnicas fundamentadas en la ingeniería, de manera segura, a costos razonables y sobre todo que garanticen la vida útil esperada de las obras con un mínimo de mantenimiento y con «cero» accidentes que puedan perjudicar a los usuarios. De acuerdo a lo anterior, hay ciencias y disciplinas fundamentales en la formación de todo ingeniero relacionado con los temas comentados, la mecánica de rocas es una de estas disciplinas.

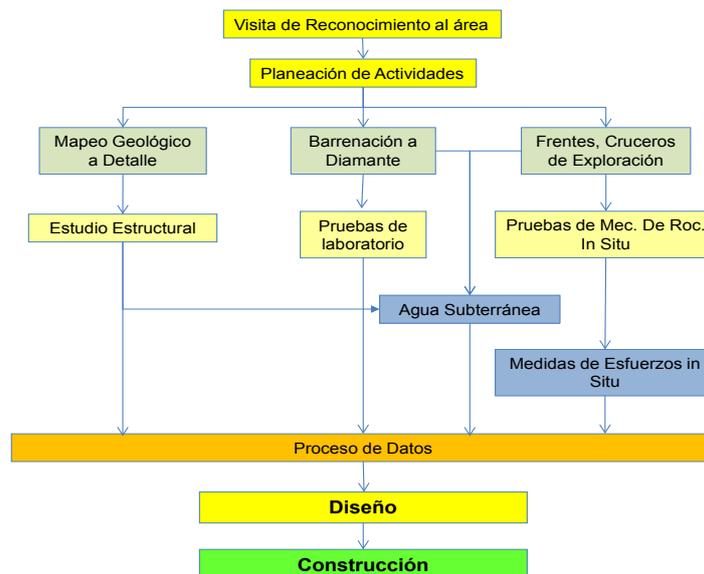
En función de la fuente que se consulte, podemos encontrar diversas definiciones, desde aquellas que la consideran una ciencia, hasta las que la consideran una rama de la mecánica de sue-

los. Para evitar controversias, y con fundamento en años de experiencia sobre el tema, aplicando sus principios a múltiples proyectos de ingeniería y minería, definiremos la mecánica de rocas como la disciplina que integra conocimientos de dos ciencias básicas, la Geología y la Física (mecánica) para el estudio y clasificación de los diversos tipos de macizos rocosos (MR) en términos de su resistencia mecánica (Resistencia del Macizo Rocos o Rock Mass Strength) y de las estructuras geológicas que los afectan (fallas, fracturas, etc.), así como del estudio de los esfuerzos naturales y/o inducidos que interactúan con estos.

Para asegurar la viabilidad técnica, económica y sobre todo la seguridad de las obras durante su construcción y a lo largo de su vida útil, debemos seguir procedimientos específicos. En este sentido, el seguimiento y aplicación de los principios de la mecánica de rocas es fundamental, ya que de no hacerlo, nos exponemos a altos riesgos relacionados con accidentes que pueden tener consecuencias muy graves. Las actividades y secuencia básicas de esta disciplina se describirán a continuación.

## Metodología

Toda disciplina con bases científicas debe aplicarse con fundamento en cierta metodología, en el caso de la mecánica de rocas, hay varios procesos y actividades que son fundamentales y que pueden realizarse a través de diversas técnicas, por ejemplo, la caracterización de los macizos rocosos es primordial y, para el logro de este objetivo, hay muchos métodos disponibles (algunos de ellos se describirán brevemente en párrafos posteriores). El ingeniero encargado del proyecto es el responsable de seleccionar el método de caracterización más adecuado. En el siguiente diagrama (Figura 1) se presentan las diversas tareas o actividades que integran la metodología para caracterización de macizos rocosos para aplicarla a la construcción de un proyecto.



**Figura 1.** Actividades que integran la metodología para caracterización geomecánica de macizos rocosos.

En el inicio de la secuencia mostrada, podemos notar que se ha definido *visita de reconocimiento del área*. Resulta lógico, y hasta cierto punto obvio, que no podemos realizar una tarea de caracterización de macizos rocosos sin antes visitar el sitio donde se pretende ejecutar el proyecto. La visita, o inclusive visitas iniciales al sitio, son muy importantes pues lo que se observe durante estas, servirá de base para la planeación subsecuente, misma que deberá integrar todas las actividades necesarias para cumplir con el objetivo.

Es importante aclarar que un proyecto en superficie es muy diferente a uno subterráneo, y que en el diagrama se muestran actividades generales que no necesariamente aplican para ambos casos, por ejemplo, para una obra en superficie los esfuerzos *in situ* tienen menor influencia.

El *mapeo geológico* a detalle es de gran relevancia en el proceso de caracterización de un MR, ya que de este se desprende el estudio estructural. En esta actividad se precisan los diferentes tipos de rocas (litologías) en el área de influencia del proyecto; se definen claramente las estructuras geológicas tales como zonas de contacto, plegamientos y en lo general, las juntas (fallas, fracturas, planos de estratificación, diaclasas, etc.). El *estudio estructural* implica la caracterización de todas las juntas, definiendo entre otras cosas, geometría (rumbo, echado), tipo, continuidad, si son juntas abiertas o cerradas, tipo de relleno (si es que lo hay), rugosidad, presencia de agua, direcciones dominantes, etc. El proceso de caracterización de juntas en sí, es complejo y en consecuencia tiene su propia metodología.

En muchos de los proyectos se requiere obtener muestras de rocas del subsuelo, sobre todo en aquellos donde la magnitud de la excavación sea a gran escala, a profundidad considerable o bien donde no existan afloramientos de roca expuestas en superficie. Una actividad común para obtener tales muestras es la conocida como *barrenación de diamante* (Figura 2). Esta actividad implica la perforación de barrenos con recuperación de núcleos de roca (muestras) que posteriormente se envían a un laboratorio especializado para determinar sus características mecánicas, tales como resistencia a compresión simple, resistencia a cizallamiento, módulo de deformación, cohesión, ángulos de fricción, etc.



**Figura 2.** Barrenación de diamante en el interior de una obra minera y trozo de muestra obtenida (foto de los autores).

Para el caso de obras que impliquen excavaciones subterráneas o grandes obras en superficie, es importante la *determinación del estado de esfuerzos in-situ*. En definitiva, esta tarea no es fácil y requiere de un proyecto o estudio especial que implica la instalación de equipos o instrumentos costosos (Figura 3) en obras hechas *ad hoc* como socavones y túneles para instrumentar y obtener información geomecánica. Aunque son obras comunes, implican altos niveles de costo y tiempo. El objetivo de esta actividad es definir la magnitud y dirección de los esfuerzos principales y secundarios que pueden tener influencia en la deformación y estabilidad de las excavaciones y, en consecuencia, de la seguridad y operatividad de las obras concluidas. A lo largo de más de 20 años de experiencia participando en proyectos relacionados con la mecánica de rocas, se ha podido constatar que debido a lo laborioso, al tiempo y costo de estos de estudios, es raro encontrar proyectos (en México) que integren la información respectiva, por lo tanto, podemos decir que en nuestro país los estudios para determinar esfuerzos *in-situ*, tanto en grandes proyectos de construcción como en minería a cielo abierto y subterránea, son un campo que presenta una gran área de oportunidad.



**Figura 3.** Equipo para determinación de esfuerzos *in situ* en una obra subterránea (foto de los autores).

Toda vez que se tengan disponibles los datos relacionados con las actividades y/o estudios comentados, se procede a su integración, apoyándonos regularmente en un Sistema o Método para caracterización de macizos rocosos. En esta etapa el objetivo es tener una evaluación, generalmente cuantitativa de los diversos MR presentes en el área del proyecto.

Uno de los primeros sistemas correlacionados con la calidad mecánica de los macizos rocosos, fue el Rock Load Theory, desarrollado por el ingeniero austriaco Karl von Terzagui quien lo propuso en 1946 para aplicarlo en la definición de la carga o presión aplicada al diseño de marcos de acero en la excavación de túneles (Das, 2010). En su propuesta inicial, el Rock Load Theory fue

un sistema cualitativo en el cual se hacía la clasificación del MR con base en la comparación de la condición observada contra las descripciones o modelos de las diferentes clases propuestas, y básicamente tomaba en cuenta la densidad de fracturas del macizo rocoso. Este sistema marcó la pauta para el desarrollo de muchos otros y entre los más difundidos y de mejor aceptación a nivel mundial, están el RQD (Rock Quality Designation) propuesto por Deere (1966), el RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawsky (1973), el Q (Rock Mass Quality) de Barton (1974), y más recientemente el GSI (Geological Strength Index) de Ever Hoek y el RMi (Rock Mass Index) de Arild Palmstrom, ambos propuestos en 1995.

Los métodos para caracterización de MR más completos y aceptados coinciden en la integración de los parámetros siguientes: densidad de juntas (fallas, fracturas, etc.), condición de juntas (continuidad, rugosidad, tipo de relleno, etc.), presencia de agua y resistencia a compresión simple o en su caso, estado de esfuerzos *in situ*. Como se comentó previamente, el objetivo de la caracterización es tener una evaluación, preferentemente numérica, de los diversos tipos de MR que puedan estar presentes el área de estudio. Al tener la definición clara de lo anterior, se pueden establecer las medidas de control para minimizar los riesgos durante la excavación o construcción de las obras, así como a lo largo de su vida útil.

Independientemente del método seleccionado para un proyecto específico, debemos comentar que el trabajo es complejo, pues se requiere de una buena planeación (previamente comentada) en la que se definan tanto el tiempo necesario para la ejecución como los costos asociados. Muchas obras importantes han presentado problemas de estabilidad durante su construcción o lo que es peor, durante su operación, debido principalmente a que no se realizaron los estudios de mecánica de rocas pertinentes (Figura 4).



**Figura 4.** Deslizamiento de terreno en carretera Escénica Tijuana-Ensenada ocurrido en diciembre de 2013, atribuido a falta de estudios geológico-estructurales y geomecánicos (foto <http://www.4vientos.net/>).

## Resultados

Después de la ejecución de todas las actividades que integran un estudio completo de MR, los resultados se resumen de manera significativa y se expresan generalmente con valores numéricos que «califican» a los MR y definen su tipo o clase. Por ejemplo, el Sistema RQD, uno de los métodos

más simples, define cinco clases de MR en función de una calificación porcentual que va de 0 a 100 (Tabla 1); el Sistema Q define nueve tipos con calificaciones que están en una escala logarítmica que va de 0 a >400 (Tabla 2); y el RMR integra cinco clases en rangos cuyos valores están entre 0 a 100.

**Tabla 1**  
Clase de Macizo Rocoso de acuerdo al RQD (Deere, 1966)

Rango de Valores de RQD (%)	Clase de Macizo Rocoso	Calidad
90-100	I	Excelente
75-90	II	Buena
50-75	III	Regular
25-50	IV	Mala
0-25	V	Muy Mala

**Tabla 2**  
Sistema Q (Rock Mass Quality) (Barton, 1974)

Rango de Valores de Q	Clase	Calidad del MR
>400	I	Excepcionalmente Buena
100 a 400	II	Extremadamente Buena
40 a 100	III	Muy Buena
10 a 40	IV	Buena
4 a 10	V	Regular
1 a 4	VI	Pobre
0.01 a 1	VII	Muy Pobre
0.001 a 0.01	VIII	Extremadamente Pobre
<0.001	IX	Excepcionalmente Pobre

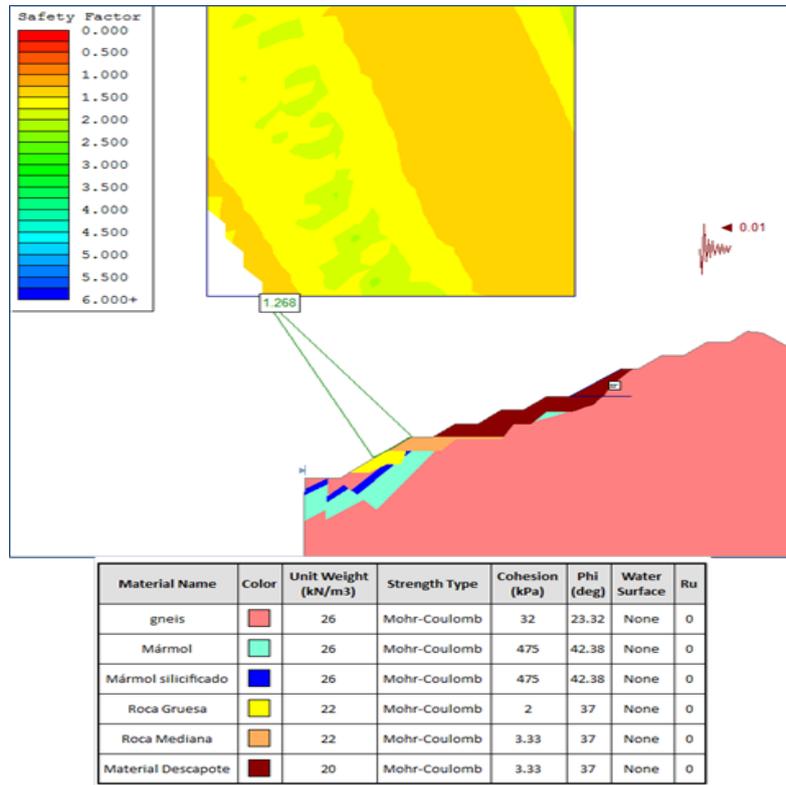
Clases de MR y significado según el RMR (Rock Mass Rating) (Bieniawski, 1973)

Valores de RMR =è	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<20
Clase	I	II	III	IV	V
Evaluación del MR	Muy Bueno	Bueno	Regular	Pobre	Muy Pobre
Tiempo Autosoporte Claro de Obra	20 años 15 m	1 año 10 m	1 semana 5 metros	10 horas 2.5 m	30 min 1 m
Cohesión del MR (kPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Ángulo de Fricción del MR	>45	35-45	25-35	15-25	<15

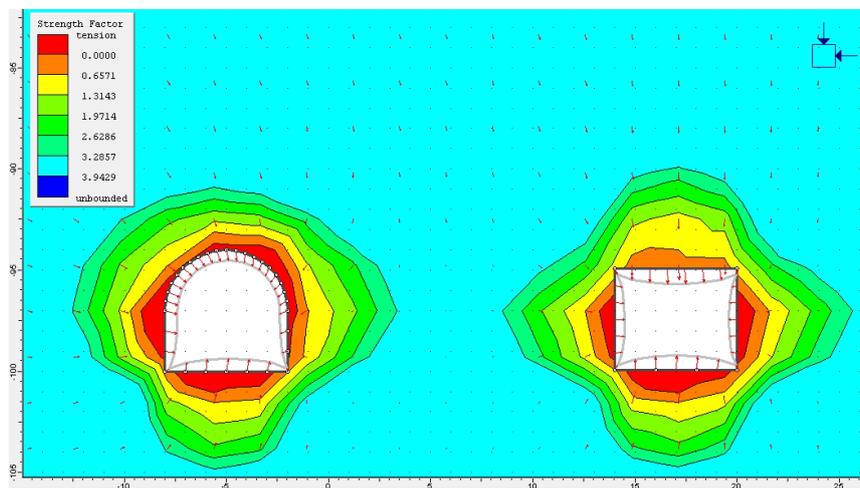
La realidad es que hay muchos otros métodos o sistemas para clasificación de MR que se aplican en diversas partes del mundo, los mencionados, solo son ejemplos y representan los más conocidos en la región de Norteamérica. Si bien, cada sistema tiene su propia metodología, lo cierto es que, como se mencionó previamente, también tienen muchas similitudes ya que se fundamentan en parámetros similares.

La caracterización de macizos rocosos es la base para el desarrollo de los *Diseños de las Excavaciones*. La definición de las clases o tipos de MR en el área de influencia de un proyecto, sirve para definir entre otras cosas, el claro máximo, pendientes y altura de la obra, así como los métodos de soporte o refuerzo, e inclusive los sistemas y procedimientos más adecuados para realizar las excavaciones.

La preparación de modelos geomecánicos o simulaciones de los proyectos con programas de cómputo que permiten predecir la interacción entre las obras proyectadas contra los esfuerzos y deformaciones del terreno y su influencia en la estabilidad de aquellas, es algo común hoy en día, tanto para excavaciones subterráneas como para excavaciones en superficie (Figuras 5 y 6), y esto no sería posible sin los datos generados durante la ejecución de los trabajos y estudios previamente descritos. Estos modelos sirven para definir las condiciones geométricas y constructivas que representen la mejor alternativa de diseño, para asegurar la viabilidad técnica y económica del proyecto, pero sobre todo, permiten maximizar los factores de seguridad durante las diversas etapas de construcción y, más aún, durante la vida útil de la obra.



**Figura 5.** Modelo geomecánico para evaluación de Factor de Seguridad en una mina a cielo abierto (Elaboración propia)



**Figura 6.** Ejemplos de un modelo de esfuerzos y deformación para obras subterráneas (Elaboración propia)

## Conclusiones

La mecánica de rocas es una disciplina que integra diversos métodos para caracterización de macizos rocosos con el objetivo de entender las interacciones entre estos y diversos proyectos de construcción en donde se requiera modificar las condiciones naturales del terreno, ya sea que se trate de obras en superficie o subterráneas. Los principales objetivos de su aplicación se pueden resumir en los puntos siguientes:

- Asegurar la integridad física de personal, equipo e infraestructuras en el entorno del proyecto durante las diferentes etapas de excavación-construcción.
- Minimizar los riesgos de accidentes durante la vida operativa de las obras.
- Minimizar tiempos perdidos y costos originados por incidentes y accidentes durante la excavación-construcción.
- Maximizar el aprovechamiento de los insumos utilizados durante la excavación y acabado de las obras.
- Obtener el diseño óptimo de las excavaciones y obras de tal forma que se maximicen los factores de seguridad.
- Minimizar los costos de excavación y construcción.
- Minimizar los costos para mantenimiento de las obras durante su vida útil.
- Asegurar la operatividad de las obras durante su vida útil.

Como podemos apreciar, son muchos los beneficios que se pueden obtener al seguir una metodología adecuada para conocer y/o determinar las características de los macizos rocosos ya que en muchos de los grandes proyectos de infraestructura que se realizan día con día alrededor del mundo, es necesario realizar excavaciones. Más aún, en las operaciones mineras del mundo (grandes o pequeñas), de donde se extraen las principales materias primas que la sociedad actual necesita, su aplicación es vital.

## Referencias

- Barton, N., Lien, R. y Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, 6(4), 189-236.
- Bieniawski, Z. T. (1974). Geomechanics classification of rock masses and its application in tunneling. En *3rd International Congress on Rock Mechanics* (pp. 27-32). Denver, International Society for Rock Mechanics (ISRM).
- Da Feo, G. y Napoli, R. M. A. (2007), Historical development of the Augustan Aqueduct in Southern Italy: twenty centuries of works from Serino to Naples. *Water Science & Technology Water Supply*, 7(1), 131-138.

- Das, B. M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning.
- Deere, D. U., Hendron, A. J., Patton, F. D. y Cording, E. J. (1967). Design of surface and near-surface construction in rock. En Fairhurst (Ed.), *Failure and breakage of rock, proceedings 8th US symposium on rock mechanics* (pp. 237-302). New York, Society of Mining Engineers.
- Hock, E., Marinos, V. y Marinos, P. (2005). The geological strength index: applications and limitations. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 64(1), 55-65. <https://doi.org/10.1007/s10064-004-0270-5>
- Millon, R. (1966). *Extensión y población de la ciudad de Teotihuacán. Un cálculo provisional*. En XI Mesa Redonda Teotihuacán, Ciudad de México, Sociedad Mexicana de Antropología.
- Palmstrom, A. (1996). Characterizing rock masses by the RMI for use in practical rock engineering. Part 1: The development of the Rock Mass index (RMI). *Tunnelling and Underground Space Technology*, 11(2), 175-188. [https://doi.org/10.1016/0886-7798\(96\)00015-6](https://doi.org/10.1016/0886-7798(96)00015-6)
- Terzaghi, K. (1946). Rock Defects and Loads on Tunnel Supports. En R. V. Proctor y T. L. White. (Ed.), *Rock Tunneling with Steel Supports*, Commercial Shearing and Stamping Company, Youngstown.
- Vidal Manzanares, C. (1998). *Historia de Egipto*. Alianza Editorial, S. A.

## **Posibles usos de los residuos sólidos de la industria minera denominados jales**

Martín Caudillo González  
Ma. Mercedes Salazar Hernández  
Lucía Guadalupe Alvarado Montalvo  
Ricardo Marín Herrera  
Víctor Manuel Quezada Aguilera  
Nancy Alejandra Frías Velázquez

### **Introducción**

El Distrito Minero de Guanajuato ha sido explotado desde el año 1548 con el descubrimiento de la Veta de San Bernabé hasta la actualidad, durante este lapso los minerales han sido beneficiados por diferentes procesos, por ejemplo, fundición, amalgamación, cianuración y flotación. El beneficio de los minerales ha generado residuos sólidos llamados jales, los cuales han sido confinados en los conocidos depósitos de jales. Estos materiales se encuentran depositados en la periferia de la ciudad representando un riesgo latente de contaminación, ya que si no son manejados de manera adecuada, pueden dar lugar a drenaje ácido provocando la contaminación por metales pesados de los mantos freáticos de la región. Para disminuir esta posibilidad, se han buscado alternativas para proponer una reutilización y aprovechamiento de estos residuos, entre las que se encuentran su venta como terrenos urbanos, recuperación de los valores metálicos remanentes, o bien como materia prima para la industria del vidrio, fundición y cerámica, así como su aplicación en la fabricación de materiales para la construcción.

En este trabajo se analizaron las especies mineralógicas presentes en los jales y un ladrillo rojo tradicional utilizado en la construcción, así como la composición química elemental de ambos con el objetivo de tener evidencias para plantear hipótesis sobre el uso de los jales como materia prima para la fabricación de materiales para la construcción.

Las muestras se caracterizaron por DRX, análisis térmico diferencial y análisis elemental por absorción atómica de flama. La combinación de estas técnicas permitieron realizar una reconstrucción mineralógica aproximada utilizando el método racional, mostrando que los jales y el ladrillo tienen una composición química y especies mineralógicas muy similares como son: sílice, albita, ortoclasa, hematita, CaO y MgO. Estos resultados permiten realizar la hipótesis de que los jales presentan ciertas características químicas y mineralógicas presentes en los ladrillos utilizados en la construcción, por lo que cabe la posibilidad de los jales pueden utilizarse como materia prima para la fabricación de materiales para la construcción.

En 1548, poco más de medio siglo después de la llegada de los españoles a México, se descubrió en la ciudad de Guanajuato la Veta de San Bernabé, dando origen a lo que hoy se conoce como el Distrito Minero de Guanajuato. La exploración de los minerales y sobre todo su beneficio, han dejado muestras en la región de lo extenso y productiva que ha sido la actividad minera: viejas

haciendas, instalaciones abandonadas, un sinnúmero de socavones y tiros. Pero uno de los más notorios son los residuos del procesamiento del mineral, mejor conocidos como jales.

Los jales son mantenidos bajo control mientras las plantas de beneficio de minerales están en operación, gracias a que se humedecen continuamente; sin embargo, una vez que se suspenden las actividades mineras, el agua presente en los depósitos de jales se evapora permitiendo que el aire transporte los materiales finos a las poblaciones cercanas, afectando la salud de los habitantes. Además, al quedar expuestos al oxígeno presente en la atmósfera, los metales son oxidados existiendo la posibilidad de que los metales pesados sean lixiviados y puedan infiltrarse a los mantos acuíferos contaminándolos. Ante estos posibles riesgos de deterioro ecológico, en septiembre de 2004 la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), catalogó los jales como residuos peligrosos. Esta declaratoria trajo como consecuencia que las empresas mineras, en adelante, deben realizar bajo una estricta reglamentación el confinamiento de los jales y contemplar un plan de cierre o postoperación (PROY-NOM-141-SEMARNAT-2003).

Para disminuir o mitigar el deterioro ecológico que pueden representar estos depósitos, se han buscado alternativas de uso y aprovechamiento. A continuación mencionamos algunas de ellas.

En la década de los 70, se dio un paso importante hacia el aprovechamiento de los jales. Cervantes (1979) reportó la obtención de tetracloruro de silicio utilizando como materia prima minerales de la región con un alto contenido de sílice; los minerales seleccionados fueron: arena sílica (50-74 %  $\text{SiO}_2$ ), caolín (43-53 %  $\text{SiO}_2$ ) y jales (50-74 %  $\text{SiO}_2$ ). Ante la inquietud de dar un uso a los jales, este trabajo despertó el interés de la iniciativa privada que en colaboración con la Facultad de Química, comenzaron a realizar trabajos para purificar la sílice contenida en los jales para ser utilizada en la fundición. Para ello se estableció un proyecto que pretendía aplicar las técnicas metalúrgicas para lograr la separación de los principales componentes minerales de estos residuos, como son el cuarzo, feldspatos, calcita y componentes metálicos (Cervantes y Parra, 1985).

Después de varios intentos, utilizando la flotación para sílice, se llegó a un proceso que consiste en tres etapas. En la primera se flota el mineral que proviene de la mina, obteniendo un concentrado de elementos metálicos y unas colas o jales. Estos últimos nuevamente se flotan, obteniendo un segundo concentrado de elementos metálicos, posteriormente, un concentrado de calcita y por último un concentrado de sílice. Por este método se logró aumentar el contenido de sílice a 76-87 %, pero no se evitó la contaminación de esta con otras especies mineralógicas como el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (7.3 %) y  $\text{K}_2\text{O}$  (2 %) en el concentrado final de sílice (Cervantes *et al.*, 1986).

Posteriormente, se planteó la eliminación de las especies contaminantes (aluminosilicatos) que se encuentran presentes en el concentrado de sílice mediante un tratamiento alcalino. Esta lixiviación se realizó a diferentes temperaturas dando como resultados un aumento en el contenido de sílice hasta 98 % a una temperatura de 73 °C, pero no se reporta el contenido residual de hierro. Para tratar de eliminarlo, se realizó una concentración gravimétrica utilizando mesas concentradoras. Por este método se pretendía disminuir el contenido de hierro en el concentrado de sílice hasta 0.2 % como  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  para poder utilizar la sílice en la industria de la fundición, pero solo se logró disminuir de 2 % a 1.63 % (Basulto, 1989; Rodríguez, 1989).

Otra alternativa de la reutilización de los jales es en la elaboración de materiales de construcción (ladrillos). Para lograr este objetivo se requiere, en una primera instancia, caracterizar el jale, así como el ladrillo tradicional por diferentes técnicas instrumentales y comparar los resultados para saber si es viable su uso como materia prima en la elaboración de materiales de construcción.

## Experimentación

Se muestrearon diferentes presas de jales localizadas en la periferia del Distrito Minero de Guanajuato. Básicamente las presas se dividieron en dos zonas para el muestreo del borde y parte superior y plana de la presa (vaso). En el borde de la presa se utilizó la técnica de muestreo de zanjas cuidando que los anchos de la ranura no fueran menores de 0.25 m. En la parte superior de la presa se realizaron pozos de muestreo en líneas con una separación entre cada pozo de 5 m. La extracción se realizó con tubos muestreadores (Figura 1).



**Figura 1.** Vista de los puntos y líneas de muestreo y tubo muestreador.

En todos los casos se recolectaron entre 5 y 10 kg de muestra por línea de pozos y zanja, esta muestra fue homogeneizada e implementando la técnica de muestreo por cuarteo, se disminuyó la cantidad de muestra y se tomaron de 40 a 50 kg aproximadamente para llevarla al laboratorio donde fueron secadas dentro de una estufa y posteriormente trituradas y homogeneizadas mediante la técnica de manteo para tomar la muestra y ser analizada por difracción de rayos X, análisis térmico diferencial y análisis químico elemental por absorción atómica de flama.

## Difracción de rayos X

La muestra que se analizó por esta técnica se molió en un mortero de ágata y fue pasada por la malla 200 aproximadamente 74 micrones y fue enviada al laboratorio de investigación y caracterización de minerales (LICAMM) donde fueron analizadas en un equipo marca Rigaku Ultima IV, con ángulo de barrido  $2\theta$  de 5-90°, velocidad de barrido de 2°/min, corriente de 30kV y 30mA, el cual tiene incluida una base de datos.

## Análisis térmico diferencial

Los análisis térmicos (DTA, TGA y DGT) fueron registrados por un termoanalizador SDT modelo 2960 TA instruments, bajo las siguientes condiciones: velocidad de calentamiento 10 C/min, atmósfera de nitrógeno con un flujo de 100 ml/min, utilizando una portamuestra de platino y como referencia  $\mu$ -alúmina como estándar.

## Absorción atómica de flama

La caracterización por absorción atómica de flama se realizó en un espectrofotómetro Analyst 2000 con lámparas de cátodo hueco, utilizando el método de adición estándar. La muestra fue preparada siguiendo el siguiente procedimiento: se secó la muestra en una estufa, posteriormente se realizó una fusión alcalina, el vidrio formado se disolvió con ácido nítrico, una vez obtenida la solución se analizó en el espectrofotómetro de absorción atómica cuantificando los elementos de Si, Al, Na, K, Fe, Ca y Mg.

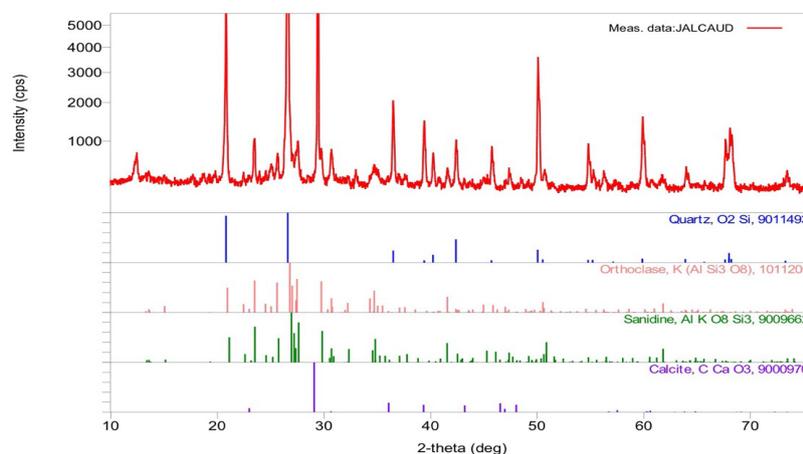
## Resultados

Los resultados que se presentan en este trabajo son parciales debido a que este proyecto se encuentra en proceso.

## Caracterización del jal

### *Difracción de rayos X*

Esta técnica identifica las fases mineralógicas que se encuentran por encima del 5 %, las fases identificadas fueron cuarzo, ortoclasa, calcita, sanidina (Figura 2), la identificación de las fases se llevó a cabo mediante el uso de la base de datos que incluye el difractómetro.



**Figura 2.** Difractograma de los jales.

### *Análisis químicos por absorción atómica*

Los resultados de los análisis químicos del ladrillo fueron los siguientes: 1.17 % de  $K_2O$ , 8.2 % de  $Al_2O_3$ , 2.82 % de  $Na_2O$ , 1.51 % de  $Fe_2O_3$ , 79.95 % de  $SiO_2$ , 0.28 de  $CaO$ , 1.4 % de  $MgO$ , 3.67 % por pérdidas por calcinación.

### **Caracterización del ladrillo tradicional**

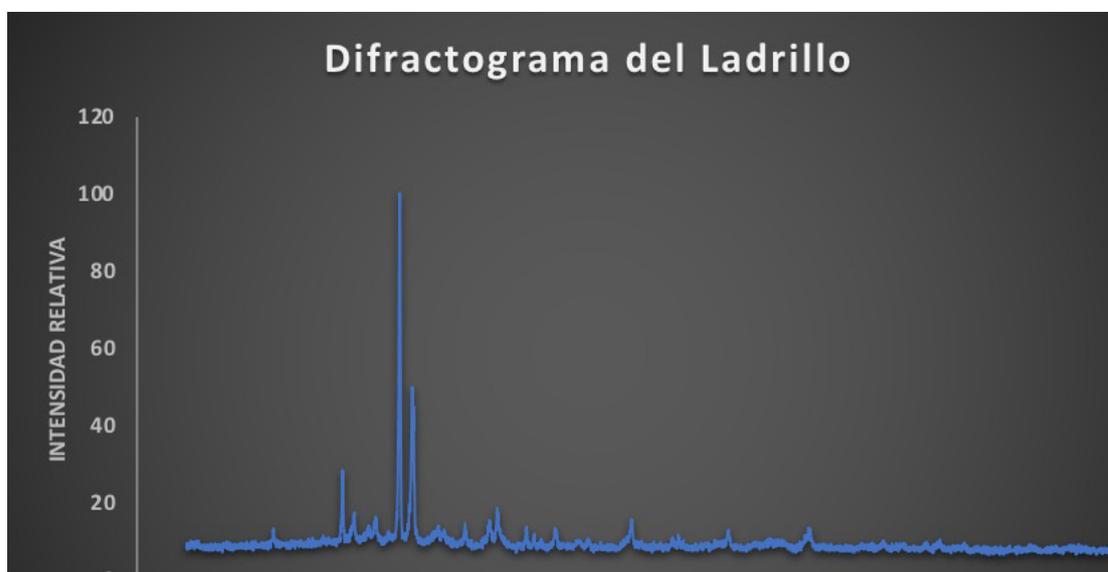
El material que servirá como punto de referencia es un ladrillo rojo tradicional (Figura 3), el cual fue caracterizado por diferentes técnicas instrumentales y pruebas estandarizadas.



**Figura 3.** Ladrillo tradicional.

### *Difracción de rayos X*

Las fases mineralógicas identificadas por esta técnica fueron: cuarzo, albita, ortoclasa, hematita, calcita (Figura 4).



**Figura 4.** Difractograma del ladrillo tradicional.

*Análisis químicos por absorción atómica*

Los resultados de los análisis químicos del ladrillo fueron los siguientes: 2.11 % de  $K_2O$ , 3.4 % de  $Al_2O_3$ , 0.69 % de  $Na_2O$ , 3.42 % de  $Fe_2O_3$ , 74.48 % de  $SiO_2$ , 0.18 de  $CaO$ , 1.62 % de  $MgO$ , 2.07 % por pérdidas por calcinación. Comparación de Resultados:

**Tabla 1**  
Análisis químicos del jal y ladrillo.

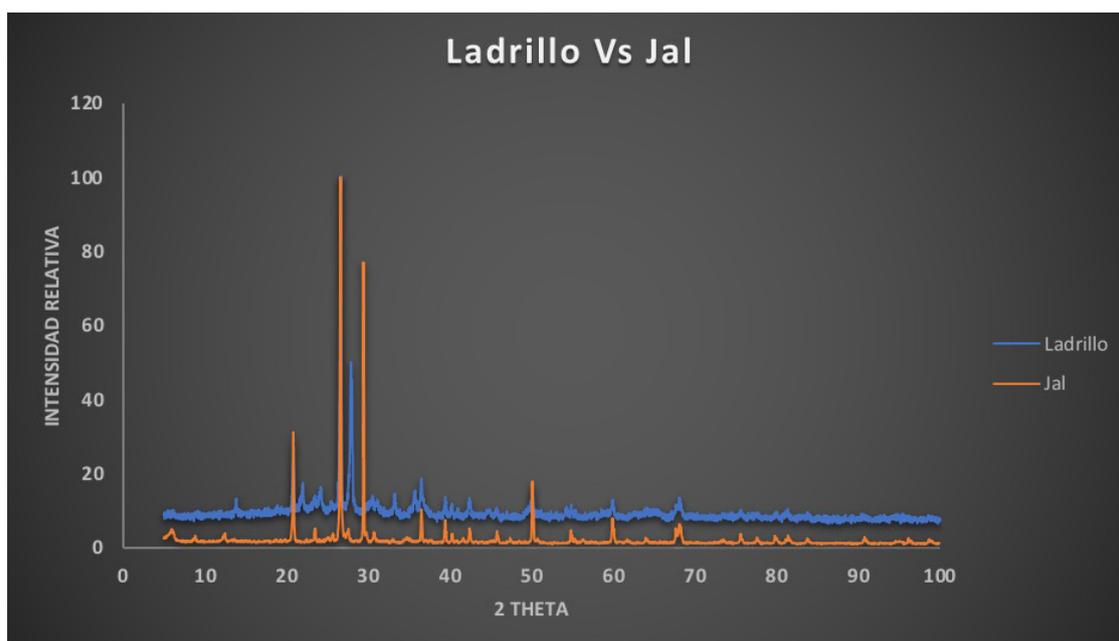
Compuesto	Jal (%)	Ladrillo (%)
$SiO_2$	79.95	86.51
$Al_2O_3$	8.20	3.40
$K_2O$	1.17	2.11
$Na_2O$	2.82	0.69
$CaO$	0.28	0.18
$MgO$	1.40	1.62
$Fe_2O_3$	1.51	3.42
Ppc	3.67	2.07

**Tabla 2**  
Reconstrucción mineralógica del jal y el ladrillo.

Mineral	Fórmula	Jal (%)	Ladrillo (%)
Cuarzo	$SiO_2$	60.85	74.48
Albita	$NaAlSi_3O_8$	15.23	5.75
Ortoclasa	$KAlSi_3O_8$	14.87	12.45
Calcita	$CaCO_3$	1.43	0.18
Óxido de Magnesio	$MgO$	0.58	1.62
Hematita	$Fe_2O_3$	2.0	3.42
Ppc	Pérdidas por calcinación	3.67	2.07

Las tablas 1 y 2 muestra la composición química y la reconstrucción mineralógica aproximada del ladrillo tradicional y el jal, y como se puede observar, existe una similitud entre ellas, lo que hace suponer que los jales pueden presentar características similares a la mezcla con la cual es elaborado el ladrillo tradicional. Esto abre una posibilidad de uso como materia prima para la elaboración de materiales de construcción.

La Figura 5 presenta la comparación entre el ladrillo y el jal. Como se observa, son muy similares en las fases mineralógicas como sílice, albita, ortoclasa y calcita, además ambos presentan hierro en el difractograma del ladrillo, donde se identifica como hematita, pero en el jal no lo alcanza a detectar, por este motivo se presenta como óxido de hierro.



**Figura 5.** Comparación de difractogramas del ladrillo y el jal.

## Conclusiones

El jal y el ladrillo están constituidos en su mayoría por silicatos y tectosilicatos como son la sílice (60-74 %), albita (15-5 %) y ortoclasa (14-12 %).

Los análisis químicos del ladrillo y los jales presentan porcentajes de óxidos de silicio (80-86 %), aluminio (3-8 %), calcio (0.1-0.2 %), magnesio (1.4-1.6 %), hierro (1-3 %), sodio (0.6-2 %) y potasio (1-2 %) muy similares.

Los resultados de los análisis químicos y la DRX revelaron que ambas muestras presentan una composición química muy similar, al igual que la composición mineralógica. Ante estas evidencias se puede formular la hipótesis de que los jales pueden utilizarse como materia prima para la fabricación de materiales para la construcción como son los ladrillos.

## Referencias

- Basulto, A. (1989). *Eliminación de hierro en los concentrados de sílice obtenidos de los jales*. Guanajuato, México.
- Bennet, H. y Reed, A. (1971). *Chemical Methods of Silicate Analysis*. New York, Estados Unidos, Academic Press Inc.
- Cervantes Abarca, A. (2008). Nuevas tecnologías en concretos. Concreto celular, concreto reforzado con fibra y concreto ligero estructural. *Memorias 2008. Congreso nacional de administración y tecnología para la arquitectura, ingeniería y diseño*, 141-162.
- Cervantes, J. (1979). *Obtención de tetracloruro de silicio a partir de diferentes materias primas* [Tesis de Maestría]. Guanajuato, México.
- Cervantes, J.J. y Parra, A. (1985). *Proyecto sobre las posibilidades de recuperación de jales*. Universidad de Guanajuato, México.
- Cervantes, J.J., Parra, A., Basulto, P. y Barrera, V. (1986). *Diversas etapas experimentales en la recuperación de los jales de la región de Guanajuato*. Oaxaca, México, Sociedad Química de México A. C.
- Rodríguez, R. E. (1989). *Purificación de sílice de los jales de Guanajuato*. Guanajuato, México.

## Diseño de máquina lateadora portátil de bajo costo

Josué Solórzano Rodríguez  
José Ricardo Moreno Peña  
Ramón Aviña Iglesias  
Santiago Arceo Díaz

### Introducción

Antes de la llegada de los españoles a nuestras tierras, y de acuerdo a la información de los cronistas del siglo XVI, existían en América inmensos bosques de cañas de bambú gigante que los españoles llamaron «cañaverales»: muchos de los bosques de bambú estaban distribuidos en las cuencas de los grandes ríos desde el sur de México hasta América del Sur. Desde entonces, ha sido utilizado en la construcción de viviendas especialmente en los climas cálidos-húmedos de los estados de Veracruz, Chiapas, Colima y Oaxaca. El sistema constructivo contempla tres formas de uso del bambú: una natural y dos procesadas, con el fin de obtener latilla y esterilla, estos procesos suelen ser artesanales, inexactos y poco prácticos, a la vez que industrializados con altos costos de operación y consumo de energías no renovables que afectan al medio ambiente.

En este sentido, se diseñó una máquina lateadora portátil —innovadora y de bajo costo— con el objeto de producir latilla de bambú que pueda ser utilizada en la construcción de viviendas rurales en zonas con alta marginación. Está compuesta por dos guías donde se desplaza la cuchilla estrella que será la encargada de hacer el corte, en el otro extremo se encuentra una placa de ½” de acero que funge como soporte y que posee en la parte posterior un sistema de tracción de la cuchilla, formado por cuatro poleas guías y un malacate que será operado de manera manual sin la necesidad de mano de obra especializada.

La investigación de Salas (2006) menciona que el bambú de especies nativas y exóticas se encuentra ubicado en áreas cercanas a las viviendas. Las de mayor uso son del género *Guadua* en Colombia, Ecuador y recientemente en Costa Rica y el género *Chusquea*.

Antes de la llegada de los españoles a nuestras tierras, las construcciones fueron realizadas con materiales orgánicos (bejucos, hojas, bambúes, maderas, etc.). Los primeros vestigios que se tienen sobre el empleo del bambú en la construcción de viviendas en América, datan 7500 años a. C. y fueron encontradas en Ecuador bajo la dirección de la Dra. Karen Stothert. Mientras tanto en Colombia, la importancia de la *guadua* en la vida de los aborígenes que poblaron lo que hoy se conoce como el territorio del Viejo Caldas y las regiones vecinas, no ofrecen ningún tipo de dudas, como tampoco el extenso uso que tuvo este bambú en otras áreas de Colombia y América.

Hacia 1917, todos los edificios públicos y privados (de ricos y pobres) eran generalmente contruidos con muros de bahareque que no partían desde el cimiento, sino que empezaban desde el segundo piso, o las tapias de cal y canto llegaban hasta la mitad de la pared del primer piso o por lo menos servían de cimientos. El bahareque solamente estaba apoyado en una solera de madera y esta, a su vez, se sustentaba en unas cuantas piedras. Fue una solución rápida para las clases menos

favorecidas; no obstante, hay ejemplos de grandes construcciones de dos pisos con cimentaciones muy elementales.

El uso del bambú en México tiene antecedentes prehispánicos: los totonacas en Veracruz, los huastecos en Hidalgo y Tamaulipas, los aztecas y teotihuacanos en el centro de México, los maya-chontales en Tabasco, han construido casas de bambú y lo siguen haciendo hoy en día (Cortés, s/f en bambumex.org). En el estado de Morelos, en el centro del país, específicamente en Chalcatzingo (1100-500 a. C.), Ann Cyphers encontró dos tipos de construcción de muros: una a base de piedra y adobe y otra asociada a la pared de bahareque (INFONAVIT, 1988, como se citó en Cedeño, 2011). Sin embargo, su uso se limita hoy en día a la construcción de cocinas o en el mejor de los casos, a la parte estructural de las cubiertas de las viviendas, elementos que se terminan de cubrir con la palma que es conocida como guano. En la Chinantla oaxaqueña, es utilizado en algunos espacios arquitectónicos como las cocinas por las altas temperaturas que ahí se producen (Flores, 2009).

En lo particular, tomando en cuenta la referencia de los estados en México que tienen un registro de bambú, según Flores (2009) en la región de Chiapas denominada Motozintla, sus habitantes construyen casas con diversos materiales de la zona, entre ellos usan bambú para las paredes y tejamil para el techo. Para los Tzeltales que son el mayor grupo de indígenas de Chiapas, su vivienda tradicional era cuadrada, sus muros a base de bahareque con techos altos de palma, zacate y tablas de madera.

En el estado de Puebla el bambú crece de manera natural en barrancas, se tiene estimado que en esta región se cuenta con alrededor de 2,000 hectáreas de bambusales naturales, de las especies *Guadua angustifolia* y Old Hammi. Por su parte en Tabasco, se tienen registros de viviendas realizadas con horcones de bambú, madera o metal, se caracterizan por la combinación de bambú y adobe en el muro y techo terminados de palma generalmente con una a dos habitaciones.

El bambú en Veracruz tiene un gran pilar y tradición en su uso como material de construcción. Hablando específicamente de los pueblos indígenas, en Tuxtla se observaron las cubiertas más grandes de la zona, que son bambúes de diferentes especies en los cuales se puede encontrar la *Guadua aculeata* y *Otatea acuminata*, la mayoría son silvestres, aunque algunos son sembrados con fines comerciales.

Según Ordoñez (1999), el uso del bambú en México se encuentra restringido principalmente a la fabricación de muebles y construcciones rurales cercanas a la zona donde crece esta especie. La distribución geográfica de los bambúes se presenta básicamente en las regiones tropicales y los estados con mayor número de especies son Chiapas, Veracruz y Tabasco. También en los estados de Jalisco y Michoacán se presenta un número importante de especies.

Actualmente se están desarrollando en algunas partes de los estados de Veracruz, Tabasco, Chiapas y Colima plantaciones experimentales con especies introducidas de Asia y Sudamérica. Esto nos permite vislumbrar que en México se puede desarrollar el uso del bambú con muy buenas perspectivas y que puede servirnos para aminorar el déficit de vivienda, en principio, en las zonas cercanas donde crece el bambú.

Este material tiene como principal objetivo tener una sostenibilidad en la cual Salas (2006) dice que estas actividades productivas del suelo y del vuelo forestal, deberán ser aprovechadas ininterrumpidamente sin causar daño alguno a cualquier ecosistema de manera directa o indirecta, con ello se protegerán tanto la parte vegetativo, rizomas y de semillas que dejarán un fructífero desarrollo. El bambú tiene una característica muy particular, y es que debido a su crecimiento tan

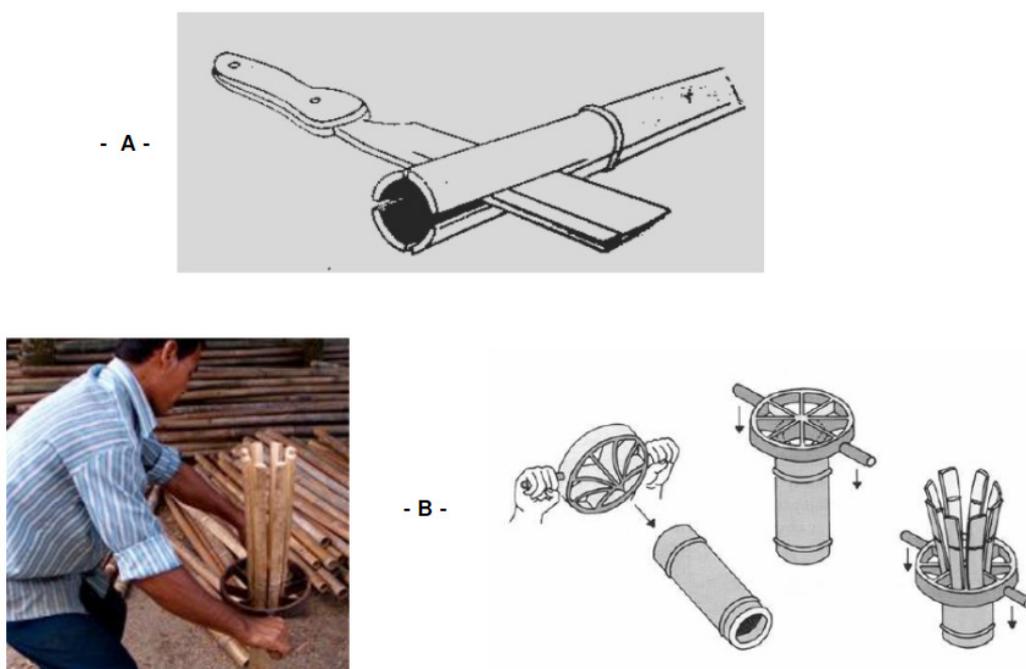
acelerado, cuando adquiere la edad adulta permite generar un aprovechamiento de una manera óptima sin dañar al espécimen haciendo que este pueda ser rentable para los productores.

## Material y métodos

La información tecnológica sobre el manejo y aprovechamiento del bambú en México es prácticamente inexistente, razón por la cual es importante realizar este tipo de trabajos de investigación. Actualmente, la mayoría de estos procesos se realizan de forma artesanal, lo que tiene como consecuencia que sean inexactos y poco prácticos, además de lo relativo a pruebas de elementos estructurales como muros, sistemas de cubierta y armaduras.

Siguiendo las técnicas aprendidas en la edificación de las casas ya mencionadas, se desarrolla la técnica constructiva tradicional buscando su tecnificación como se ve en el campo y en las zonas suburbanas, enfocándonos principalmente en el uso de bambú con las técnicas de «boca de pescado», «latilla» y «bahareque», técnicas tradicionales y más comunes con las cuales se construye con este material.

Las latillas son tiras longitudinales de los culmos que se caracterizan por su flexibilidad, resistencia, ligereza y facilidad para trabajo, aunado a su valor estético; su principal uso es para la edificación de muros divisorios. Su elaboración se lleva a cabo mediante el tallado del bambú (corte, desvarado y limpieza), posteriormente pasan por el sistema de corte en donde se sacan las latillas de bambú para ser desbastado con machete pieza por pieza (limpieza de entrenudos y de pared interior). Se aprovecha el bambú fresco para facilitar su proceso y hay dos técnicas para hacerlo: una a mano usando machete o navaja estrella (Figura 1a), para realizar esta actividad y obtener la latilla de la *guadua*, es necesario realizar un corte inicial y continuar de manera longitudinal hasta terminarlo, repitiendo esta acción tantas veces como sean necesario, de la misma manera se procederá con la navaja estrella con el inconveniente de que solo permite realizar el corte a culmos menores a la altura del operario (Figura 1b).



**Figura 1.** Lateado manual. Rajado con machete para lateado de bambú (a).  
Rajado de bambú con anillo de cuchillos (b).

La otra técnica es con una máquina lateadora. Estas máquinas (Golden Machinery Equipment Co., Limited), son costosas y tienen un peso aproximado de 650 kg, lo que la convierte en una herramienta poco práctica para ser transportada a las comunidades vulnerables, además tienen costos elevados que van de los \$ 40,000 a los \$ 90,000 pesos mexicanos aproximadamente. Otra característica es que son utilizadas principalmente de manera industrial, requiriendo de grandes consumos de combustibles o energía eléctrica, lo que la hace poco factible su uso para los propósitos deseados.

El sistema de prensa estrella es un sistema chino para el lateado del bambú, el cual hace atravesar el material por una serie de cuchillas distribuidas en forma de estrella haciendo que el material se corte de forma distribuida pero no muy pareja; en el caso de la *guadua*, estas cuchillas pierden rápidamente el filo y los cortes empiezan a ser mucho más complicados y dispares (Figura 2).

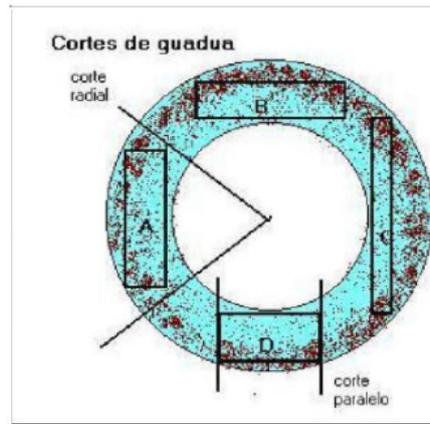


**Figura 2.** Máquina lateadora con navaja estrella fija (Christoph Tönges).

El sistema de sierras paralelas (Figura 3), como su nombre lo indica, tiene dos sierras dispuestas de forma paralela, las cuales hacen un corte (Figura 4) por cada pasada que se haga de la *guadua*, necesitando más tiempo para el corte total, adicional a esto, el posicionamiento angular de la *guadua* para el corte se hace de forma manual.



**Figura 3.** Proyecto latas y laminados de *guadua* (Jörg Stamm).



**Figura 4.** Corte de *guadua* (Cárdenas *et al.*).

Con la intención de lograr un impacto benéfico para las comunidades vulnerables de la zona norte del estado de Colima, México, y partiendo del análisis anterior, se propone una máquina lateadora portátil que tenga la capacidad de cortar culmos de diferentes medidas tanto de diámetro como de espesores.

La máquina lateadora propuesta como una innovación tecnológica se elaboró en la ciudad de Villa de Álvarez y está compuesta de una navaja estrella, la cual es la encargada de realizar el corte, esta tiene 30 cm de diámetro y está compuesta por seis navajas (Figura 5a) las cuales están unidas por medio de un anillo de acero, están conformada de forma cónica con una altura de 5 cm (Figura 5b), estos se unen al centro del mismo para sujetar el bambú y poder realizar el corte de una manera exacta y proporcionada, además cuenta con dos vástagos colocados en el eje horizontal, cada uno de ellos tiene una longitud de seis centímetros, dos perforaciones de  $\frac{1}{8}$ " de diámetro cada una a un centímetro de cada extremo, al centro se tendrán un punto de soldadura, además el sistema de desplazamiento de la navaja cuenta con dos baleros los cuales se colocaran al extremo de ambos vastos asegurados por un remache en el segundo orificio, la perforación más cercana al anillo servirá para colocar el cable acerado el cual tendrá como función aplicar la fuerza de tracción de la navaja (Figura 6), esta fuerza provocará su deslizamiento sobre el riel metálico tipo canal C de 2", mismo que cuenta con una longitud de 3 m, donde se hará el recorrido hasta la placa de acero que sujeta al bambú mientras se está realizando el corte.

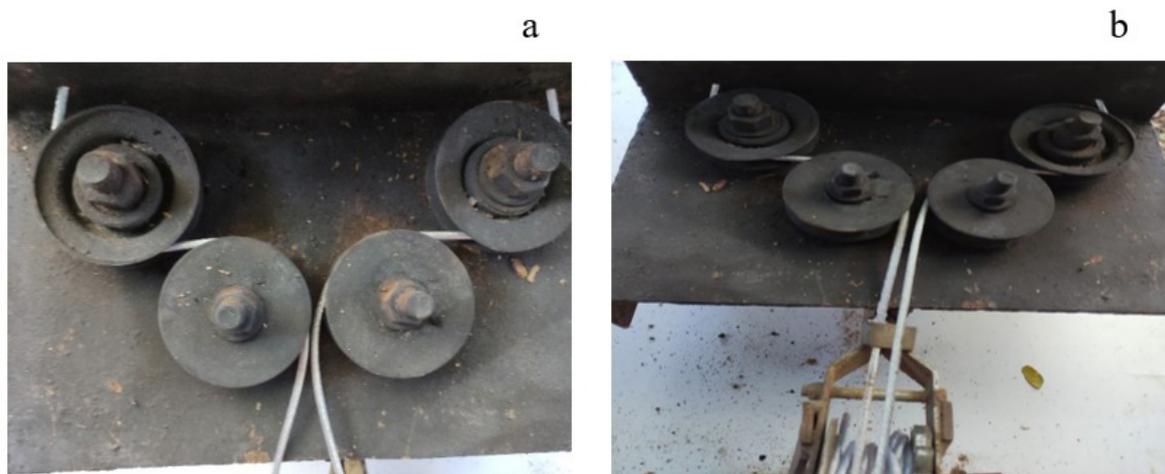


**Figura 5.** Muestra de las 6 navajas (a). Posición cónica de navajas (b). Imagen propia.



**Figura 6.** Vástago, balero y riel del sistema de desplazamiento. Imagen propia.

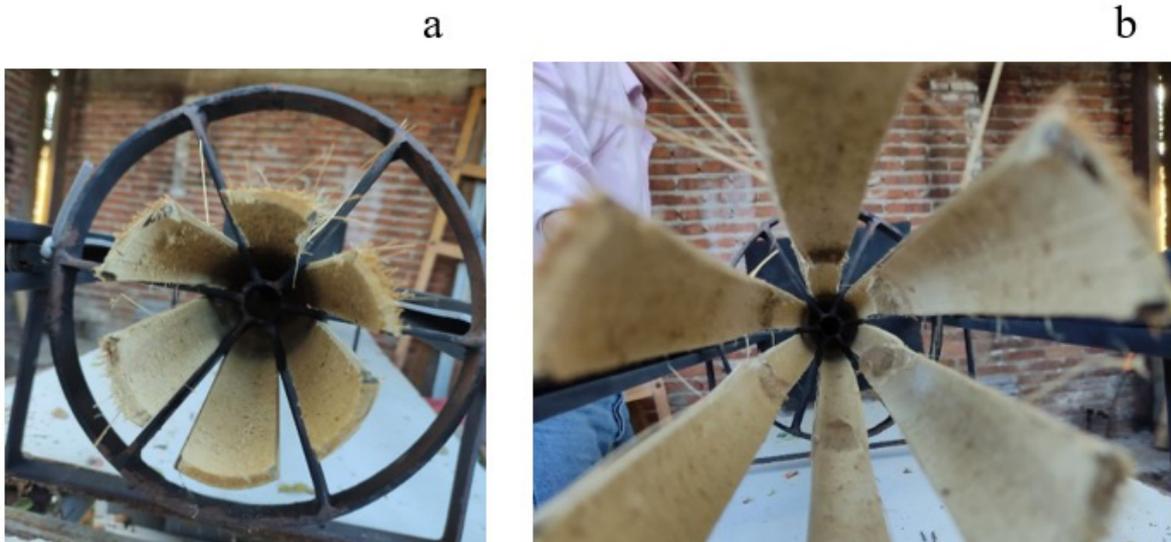
La placa de acero vertical que se encuentra en el extremo mide 40 cm de alto, 35 cm de ancho y tiene un espesor de  $\frac{1}{2}$ "', cuenta con dos perforaciones en la parte interior que coinciden co-linealmente con las perforaciones que tiene la navaja estrella en sus vástagos, su sistema de tracción está formada por una base metálica de 35 cm de ancho, 20 cm de largo y del mismo espesor que la anterior, en la que se fija un sistema de cuatro poleas (Figura 7a), que servirá para guiar el cable acerado hacia el malacate (Figura 7b), el cable a utilizar deberá tener una extensión de 4 m de largo.



**Figura 7.** Sistema de tracción con poleas (a). Guía de cable acerado y malacate (b).

Dependiendo de los diámetros de los culmos y las dimensiones de las latillas requeridas, las navajas estrella empleadas podrán ser de seis, ocho o diez cuchillas (en la Figura 8a podemos ver la de seis). Este proceso de corte se realiza de forma semiautomática y sin consumo de energía eléctrica o combustibles, además su operación es muy sencilla ya que no requiere mano de obra

especializada, lo que favorece su uso en comunidades vulnerables, resultando ser muy segura y logrando mayor uniformidad y precisión en las dimensiones del corte (Figura 8b), mejorando así la productividad por jornada de trabajo.



**Figura 8.** Navaja estrella de seis cuchillas cortando bambú (a). Corte de bambú vista frontal (b).

La máquina lateadora puede cortar bambú desde 50 cm hasta 300 cm (Figura 9), pudiéndose incrementar hasta los 600 cm mediante un sistema retráctil que actualmente se encuentra en proceso de diseño. Los diámetros que puede procesar van de las 2” a las 10” con espesores de 1” hasta 1.5”, siendo estos su espectro de uso y parámetros de corte.



**Figura 9.** Corte de bambú perspectiva posterior.

## Conclusiones

El resultado de esta investigación nos brinda una opción asequible y una manera más eficiente e innovadora para realizar el proceso de producción de latilla de bambú. En comparación con las características que tiene la maquina lateadora comercial de Zhengzhou Runxiang machinery Equipment, en cuanto peso (650 kg) y costo (\$ 40,000-\$ 90,000), el diseño de la máquina aquí propuesta tiene un peso aproximado de 65 kg y una costo cercano a los \$ 3,500 pesos mexicanos, convirtiéndola en una solución que puede beneficiar a muchas comunidades en zonas de alta vulnerabilidad en el estado de Colima.

De las mejoras que se están haciendo en el diseño y futura implementación, se encuentran los métodos de colocación de un cono circular de 30 cm de diámetro y 10 cm de ancho en la placa donde se hace presión para asegurar de manera más efectiva el bambú, esto con el objetivo de que sea más recta. De igual forma, se trabaja en un sistema retráctil extensible para hacer cortes de bambús de hasta 6 m.

## Referencias

- Botero Cortes, L. F. (2004). *Manual de industrialización del Bambú*. COMPYMEFOR.
- Morán Ubidia, J. (2015). *Construir con bambú «caña de guayaquil»*. Red internacional de Bambú y ratán, INBAR, Tercera Edición adaptada para Perú.
- Pérez Ospina, D. A. y Díaz Pontífice, O. (2014). *Máquina lateadora de Guadua*. Universidad Javeriana de Cali, Colombia.

## **Efecto de la producción de hidrógeno Con la temperatura de la celda electrónica**

Víctor Daniel Jiménez Macedo  
Tizoc López López

### **Introducción**

El desarrollo de fuentes de energía alternativas es un tema de investigación mundial, en este sentido, el hidrógeno como combustible es una línea de investigación que en México es importante trabajar y madurar para obtener aplicaciones sustentables y amigables con el medio ambiente.

Actualmente, el hidrógeno está en el plan estratégico de energía sostenible de los gobiernos en diferentes países del mundo, por ejemplo, el Departamento de Energía de los Estados Unidos, la Dirección General de Investigación de la Comisión Europea, el Ministerio Japonés de Economía, Comercio e Industria, el Ministerio del Transporte de China, la Secretaría de Energía (SENER) de México, el Ministerio de Energía y Minería de Argentina, entre otros.

Por otra parte, el uso del hidrógeno en motores de combustión interna se remonta a más de doscientos años. En 1807, François Isaac de Rivaz inventó un motor de combustión interna que utilizaba una mezcla de hidrógeno y oxígeno como combustible. En 1860, fue patentado un motor de dos tiempos por Jean Joseph Etienne Lenoir, el cual funcionaba con hidrógeno generado por el proceso de electrólisis del agua. En 1933, Norsk operó un vehículo de motor de combustión interna con hidrógeno. Por otra parte, el primer motor de inyección directa de hidrógeno data de 1933, año en que Erren Engineering Company propuso inyectar hidrógeno ligeramente presurizado en el aire dentro de la cámara de combustión, en vez de alimentar la mezcla de aire y combustible a través del carburador en el motor. Posteriormente, en 1977, se presentó un motor de inyección directa de dos tiempos con encendido por chispa con hidrógeno. Finalmente, en 1979 la marca de automóviles BMW, en colaboración con DLR, presentaron su primer vehículo de hidrógeno.

### **Generación de hidrógeno**

El uso del hidrógeno como combustible sostenible es actualmente una alternativa energética por la extensa variedad de métodos que existen para producir este combustible. Es posible obtenerlo, por una parte, a partir de combustibles fósiles y, por otra, de energía renovable como la biomasa, energía eólica, energía solar, energía nuclear, entre otros métodos.

Así pues, a continuación se explica la generación de hidrógeno a partir de combustibles fósiles. Los combustibles de hidrocarburos están compuestos de carbono e hidrógeno por medio de procesos químicos. El hidrógeno producido en masa para fines industriales, suele obtenerse por

reformado con vapor de agua y gas natural. Este proceso se realiza a elevadas temperaturas (700-1100 °C), de esta forma, el vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) reacciona con el metano ( $\text{CH}_4$ ) produciendo gas natural sintético:  $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3 \text{H}_2$ . Posteriormente, con el monóxido de carbono generado de esta reacción química, se mezcla con vapor de agua, con una temperatura en torno a 150 °C para obtener:  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$

Por otra parte, la obtención del proceso de hidrógeno por el método de electrólisis, representa una forma de generación de este combustible que no emite gases contaminantes. El mecanismo de obtención de hidrógeno consiste básicamente en hacer circular una corriente eléctrica a través del agua para disociar la molécula de  $\text{H}_2\text{O}$  y obtener una molécula de oxígeno y dos de hidrógeno:  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O} + \text{H}_2$

El hidrógeno, como recurso energético, genera prácticamente cero emisiones contaminantes y, más aún, si el uso de este combustible contribuye a mejorar la eficiencia de las máquinas térmicas. Esto se puede lograr principalmente por la forma en que se lleva a cabo el proceso de combustión. Actualmente, la generación de energía puede usarse en diferentes tipos de máquinas térmicas, tales como en motores de combustión interna, para su uso en sistemas de propulsión aplicadas al transporte y para la generación de energía eléctrica mediante pequeños generadores de electricidad. En la actualidad, además de los motores de combustión interna, existen turbinas de gas que se alimentan con este combustible. Por otra parte, también las pilas de combustibles usan el hidrógeno para la propulsión de vehículos eléctricos de forma eficiente.

## Banco de hidrógeno

En la presente sección se describe la instalación experimental que fue diseñada y construida para generación de hidrógeno. En la Figura 1 se muestra la celda de generación de hidrógeno usada para el presente estudio.



**Figura 1.** Celda de generación de hidrógeno.

En esta figura se muestran dos celdas de generación de hidrógeno: en la parte de abajo se muestra la celda de origen comercial y en la parte de arriba la celda optimizada. Los elementos constructivos de la celda comercial son: (i) una placa conductora de electricidad; (ii) una placa neutra que se posiciona entre las placas polarizadas; (iii) oring que sirve para separar las placas; y (iv) placa de acrílico, que es por donde entra agua y sale la mezcla de gases de oxígeno e hidrógeno.

En la Figura 2 se muestra el banco de generación de hidrógeno que se ha diseñado y construido. Este banco tiene capacidad de incorporar varias celdas de hidrógeno para incrementar la capacidad de generación de hidrógeno, de esta forma, este sistema incluye ductos por donde se trasiega el agua y la mezcla de oxígeno e hidrógeno. También se incluyen depósitos para albergar el  $H_2O$  que se desea transformar en combustible, así como la instalación eléctrica para el suministro de corriente eléctrica a la celda.



**Figura 2.** Banco de generación de hidrógeno.

Dentro de esta misma instalación se incluye una fuente de poder de corriente directa para el suministro de energía eléctrica, por tanto, en la Figura 3 se muestra esta unidad.



**Figura 3.** Fuente de poder usada en el presente trabajo.

Este regulador usado tiene capacidad de modificar la tensión y corriente eléctrica que se proporciona a la celda por medio de un potenciómetro, donde se puede modificar la tensión desde los 0 a 20 voltios, regulando la corriente en un rango de 0 a 30 Amperios. De esta forma, este regulador permite proporcionar diferentes condiciones operativas de funcionamiento de la celda para controlar el gasto másico de generación de hidrógeno.

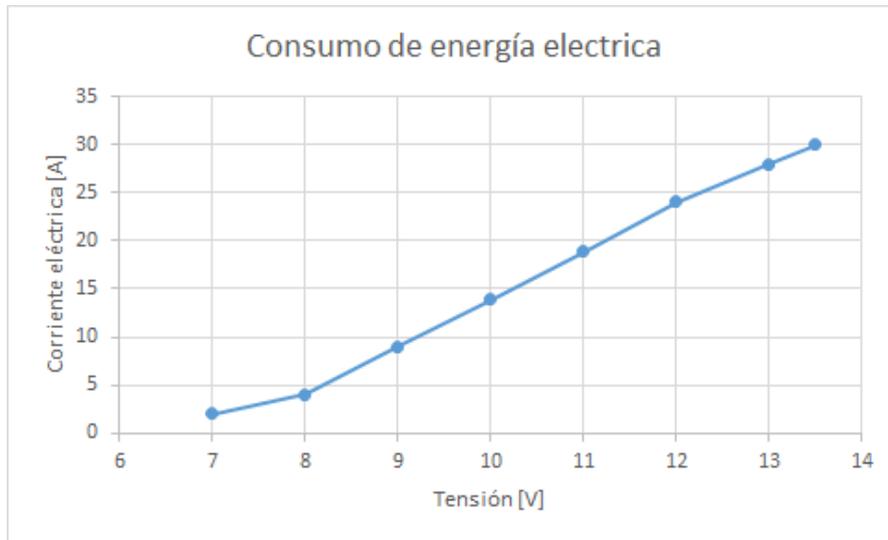
## Resultados

En la presente sección se muestran los principales resultados obtenidos. En la Figura 4 se muestra la cámara termográfica usada para medir la temperatura de pared de la celda de hidrógeno, así como la celda de hidrógeno dispuesta en el banco motor en funcionamiento.

Por otra parte, los resultados de consumo de corriente eléctrica frente a la tensión suministrada se muestran en la Figura 5, donde se expone una dependencia proporcional de la corriente en función del voltaje inducido. El amperaje que se presenta en esta figura, y que es capaz de consumir la celda de hidrógeno, se justifica por la resistencia eléctrica que representa la propia celda de hidrógeno, es decir, modificar la resistencia eléctrica de la celda modificando el número de placas neutras o polarizadas, provoca diferentes consumos de energía eléctrica y, por ende, se modifica también la capacidad de generación de hidrógeno en el banco de hidrógeno.

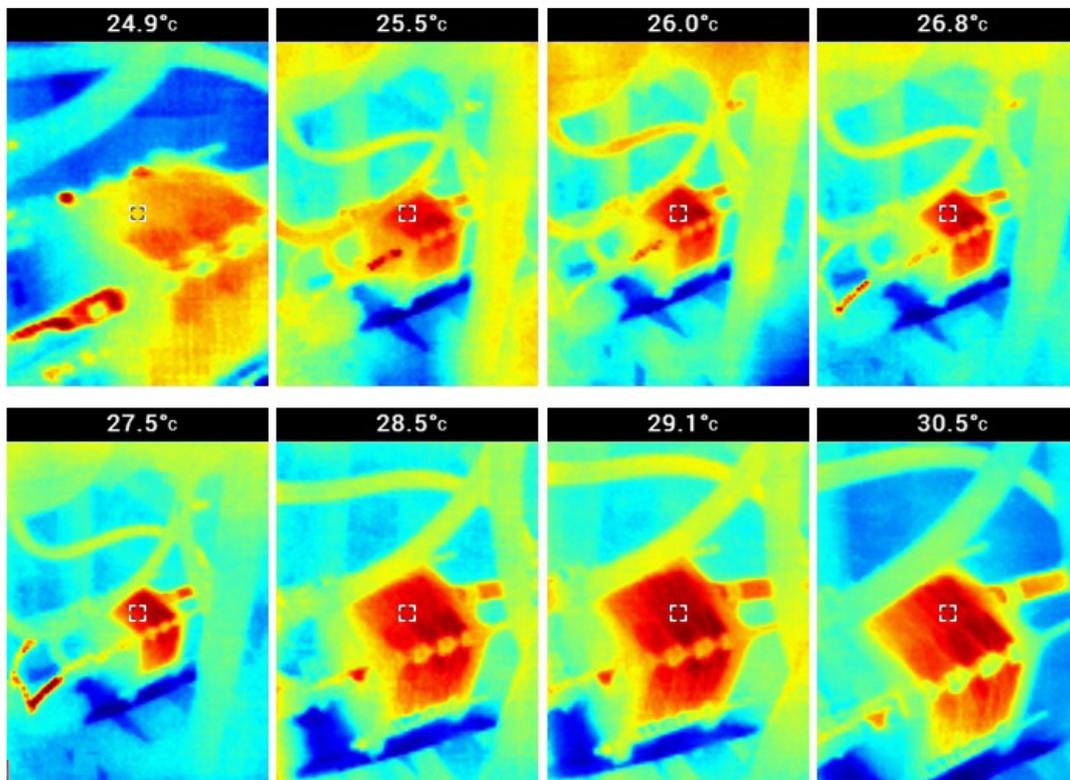


**Figura 4.** Cámara termográfica usada para obtener los mapas de temperatura de la celda de hidrógeno.



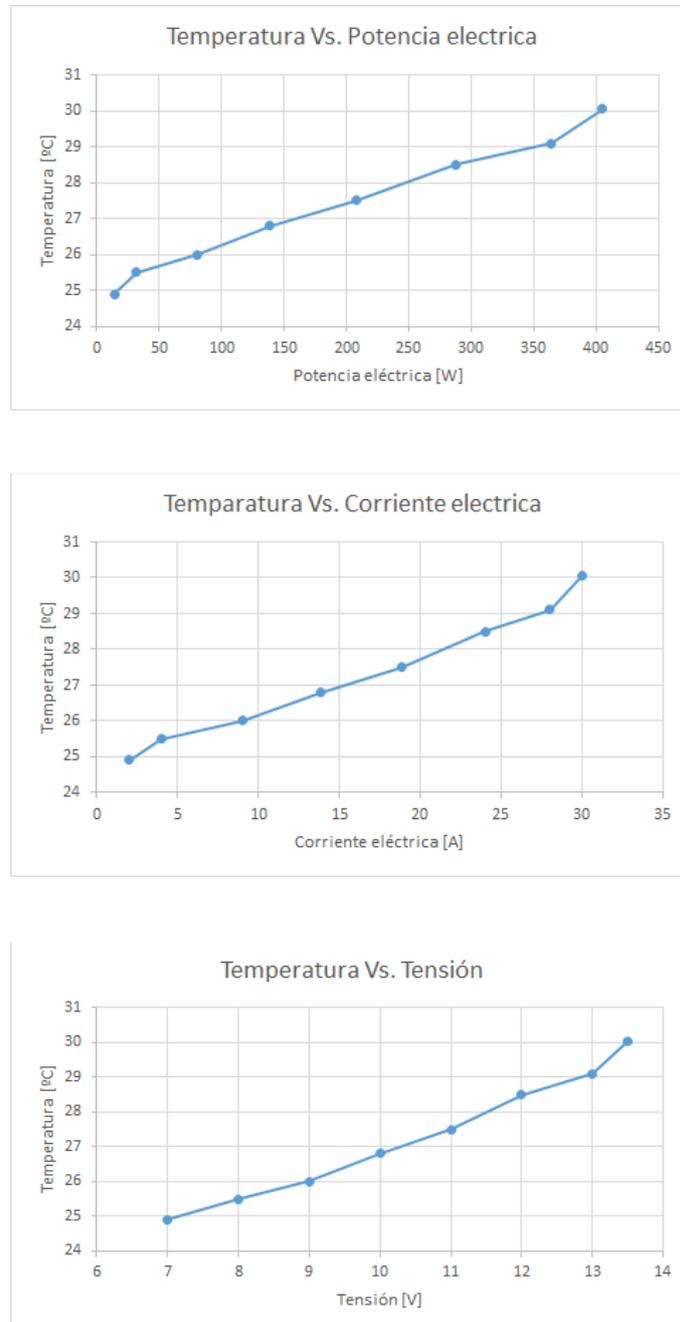
**Figura 5.** Consumo de energía eléctrica de la celda de hidrógeno.

Los mapas de temperaturas de pared externa obtenidos con la cámara termográfica se muestran en la Figura 6 y corresponden a las condiciones de operación que se muestran en la Figura 5.



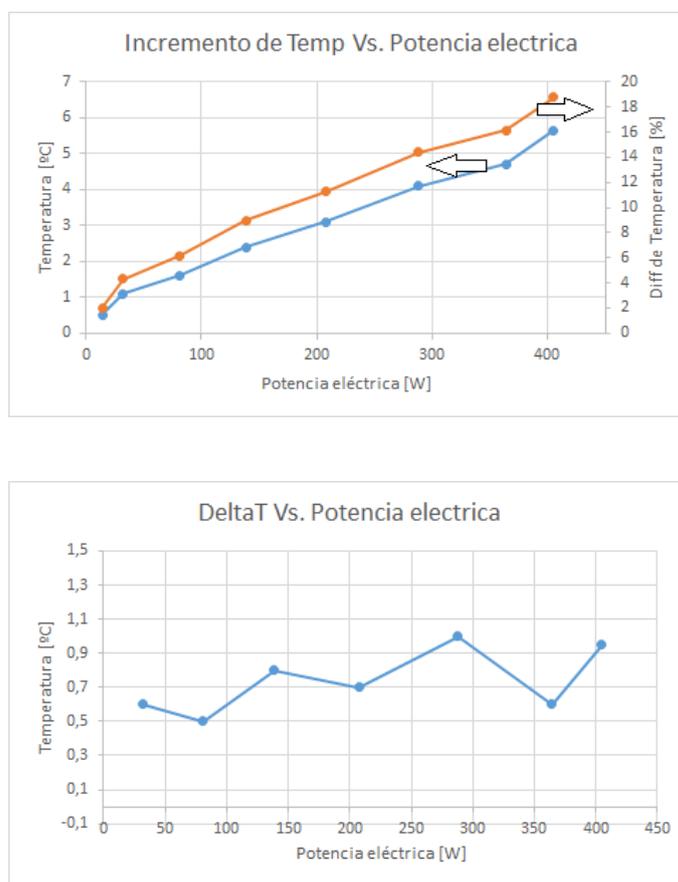
**Figura. 6.** Mapas de temperatura de pared externa de la celda de generación de hidrógeno en operación.

Los resultados medidos de la temperatura frente a la tensión, corriente eléctrica y potencia suministrada se muestran en la Figura 7 (valores que corresponden a los registrados en la Figura 6), donde se observa cómo la temperatura se va incrementando a medida que se suministra mayor energía eléctrica, situación razonable debido a que, por una parte, una fracción de este suministro de energía eléctrica incrementa la energía interna del agua y, por otra, la corriente eléctrica atraviesa la resistencia que en el presente caso es agua con alta conductividad eléctrica, lo que provoca el rompimiento de los enlaces que unen a las moléculas de H<sub>2</sub> y O generando calor en este proceso.



**Figura 7.** Resultados registrados de la variación de la temperatura frente a: (i) tensión: abajo; (ii) corriente eléctrica: en medio; y (iii) potencia eléctrica: arriba.

Para cuantificar de forma porcentual los incrementos de temperatura para las diferentes condiciones de operación ensayadas experimentalmente, en la Figura 8 se muestran los resultados de los incrementos de la temperatura frente a la potencia eléctrica suministrada al sistema de generación de hidrógeno. En la parte de debajo de esta figura se exponen los incrementos de temperatura con respecto a la condición anterior ensayada, donde se observa un valor promedio de incremento de 0.735 °C. Además, en la parte de arriba de esta misma figura se muestra el incremento de temperatura frente a la potencia eléctrica entregada, tomando como referencia la temperatura ambiente.



**Figura 8.** Resultados de incrementos de temperatura frente a la potencia eléctrica.

Se observa un incremento máximo de 5.65 °C cuando los valores de tensión y corriente eléctrica son 13,5 V y 30 A. Esto representa una diferencia porcentual del 18.8 % entre la temperatura máxima registrada y la temperatura ambiente.

## Conclusiones

En el presente trabajo de investigación se llevaron a cabo ensayos en banco de hidrógeno para determinar el efecto de la potencia suministrada a la celda de hidrógeno con la temperatura de pared de la celda. Para ello, se ha descrito el apartado experimental que incluye toda la instrumentación y se llevaron a cabo ensayos modificando la tensión y la corriente eléctrica, y con estas diferentes condiciones de operación fueron obtenidos los mapas de temperatura por medio de una cámara infrarroja.

Los principales resultados muestran incrementos de temperatura con respecto a la condición previa ensayada, registrándose un valor promedio de 0.735 °C. También, se registró un incremento en la temperatura frente a la potencia eléctrica entregada, tomando como referencia la temperatura ambiente donde se obtuvo un máximo de 5.65 °C para una potencia eléctrica suministrada a la celda de generación de hidrógeno de 405 W que representa un 18.8 % frente a la temperatura ambiente. Finalmente, el incremento en la temperatura se debe al mecanismo de electrólisis que conlleva una generación de calor.

## Referencias

- Blair, G. P. y McConnell, J. H. (1974). Unsteady gas flow through high-specific-output 4-stroke cycle engines. *Transactions*, 83, 2702-2721.
- Guthrie, B. R. (2008). Hydrogen G-cycle rotary internal combustion engine, in United States Patent No. US2008/0247897 A1:2008.
- Heywood, J. B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill Publishing.
- Jiménez Macedo, V., et al. (2019). *Construcción, optimización y evaluación experimental de una celda de hidrógeno*. CECTI, Morelia, México.
- Jiménez Macedo, V., Piña Castillo, J., Trujillo Jiménez, J., Ceja Martínez, L. y Martínez Valencia, A. (2017). Evaluación de una mezcla de combustible hidrógeno y gasolina para su uso en motores de combustión interna: emisiones contaminantes. *Academia Journals*, 9(6), 1946-5351.
- Natkin, R. J., Tang, X., Whipple, K. M., Kabat, D. M. y Stockhausen, W. F. (2002). *Ford hydrogen engine laboratory testing facility*. SAE Technical Paper No. 2002-01-0241.
- Sugisita, H., Mori, H. y Uematsu, K. (1998). A study of thermodynamic cycle and system configurations of hydrogen combustion turbines. *International Journal of Hydrogen Energy*, 23(8), 705-12.

## **Evaluación mecánica del polímero pmma a partir del proceso de fabricación para elaborar prótesis dentales**

Alberto Gutiérrez Martínez  
Miguel Roque Vásquez Hernández  
Tizoc López López  
Javier Gutiérrez Martínez  
Erasmus Correa Gómez  
Manuel Guzmán Tapia  
Ramón Hernández Sánchez

### **Introducción**

El polímero metil-metacrilato (PMMA) tiene una amplia aplicación en el área médica, principalmente en la elaboración de prótesis dentales, oculares, entre otras. Se trabaja con este material por su fácil acceso, costo y diversas aplicaciones médicas odontológicas.

El conocimiento del comportamiento en fatiga convencional y ultrasónica de los polímeros usados en la industria médica es relativamente reducido: la búsqueda bibliográfica llevada a cabo en esta temática ha dado como resultado un número limitado de trabajos de investigación en esta área. Por estas razones, resulta de particular interés incursionar en el estudio del comportamiento de la fatiga de materiales polímeros utilizados en la industria médica. Un avance en esta dirección es determinar una aplicación eficiente y de tiempo de durabilidad de un material polímero de uso médico.

La falta de información sobre la resistencia a la fatiga mecánica de los materiales polímeros aplicados al área médica es reducida a nivel internacional y, aún más, a nivel nacional. Por lo tanto, este proyecto permitirá determinar la respuesta de comportamiento a la fatiga mecánica, representativa del uso médico al que se somete el material.

La preparación de las probetas a base de PMMA de aplicación odontología se fabrican basándonos en las normas clínicas dentales, como las normas internacionales ADA y ADM. Cumpliendo con los requisitos que exigen respecto a:

- Propiedades de superficie (color, translucidez y facilidad de pulido).
- Cuerpo (porosidad, absorción acuosa y solubilidad).
- Mecánicos (resistencia flexible, capacidad de unirse a dientes prefabricados y unirse a otras resinas).
- Información del fabricante (Son las normas de fabricación 12, 13 y 15 de la ADA basadas en los mismos compuestos).

## Material utilizado

La cantidad de fabricantes de PMMA de aplicación odontológica actualmente es muy amplia, por ello, para decidir con cuál marca trabajar se tomaron en cuenta dos premisas: facilidad para adquirirlo y recomendación de tres odontólogos profesores, académicos y directores de sus laboratorios de prótesis dentales, quienes conocen y trabajan de cerca con estos productos.

En la Figura 1 se muestran las distintas presentaciones que maneja el fabricante MDC Dental, empresa mexicana fundada en 1974 con distribución en más de 11 países y reconocida en los mejores congresos dentales nacionales e internacionales como: AMIC y Alta Técnica en la Ciudad de México; ARIC en Guadalajara; Midwinter Show en Chicago; CDS en Anaheim, California; Congreso Dental en NY; Congreso Dental en Colonia, Alemania (IDS); SINO DENTAL en China, entre otros. La Marca Nic Tone es el nombre comercial del PMMA elegido.



**Figura 1.** Polímero y monómero PMMA de preparación auto curable polvo y líquido respectivamente. Imagen tomada de <https://dental.com.mx/producto/esp-mx/9bf31c7ff062936a96d3c8bd1f8f2ff3/monomeros>

## Proceso de polimerización

Existen tres métodos básicos de polimerización para el PMMA de aplicación dental. El primer método es mediante la activación de calor y se conoce como termo-polimerizable; el segundo método se lleva a cabo a temperatura ambiente y se conoce como auto-polimerizable; y finalmente, el tercer método tiene el nombre de foto-polimerizable y se lleva a cabo por radiación ultravioleta. Para el estudio de esta investigación se trabaja con material termo-polimerizable, debido a la aplicación como trabajo final y por ser la forma básica más usada actualmente como trabajo definitivo de las prótesis.

El acrílico es un material plástico que tiene propiedades inigualables, ya que puede ser utilizado para la construcción de prótesis, férulas, aparatos de ortodoncia, porta impresiones, prótesis totales y en la construcción de placas base. Para el proceso de polimerización el fabricante debe proporcionar la siguiente información:

- Porción polvo-líquido (Polímero-Monómero).
- El tiempo, la temperatura y el procedimiento para preparar el material y empaquetarlo.
- El tiempo de trabajo después del cual se puede proceder al empaquetado.
- El ciclo detallado de tiempos y temperaturas para el procesamiento, calentamiento, enfriamiento y retiro del polímero de la mufla.
- Instrucciones sobre la preparación del material procesado.
- Una confirmación de unión de los dientes con los polímeros para bases de dentaduras.

Con la anterior información se sabrá que es de suma importancia usar las proporciones indicadas por el fabricante, ya que demasiado líquido en el polvo producirá pesos moleculares más bajos, y menos líquido, no captura todas las partículas de polvo ocasionando resequedad y resquebrajamiento del producto.

Para obtener los valores de calidad de acuerdo a la norma, se debe respetar el tiempo y temperatura indicada, en los cuales se inicia y se propaga la polimerización. En esta etapa el material va adquiriendo la consistencia primero arenosa, después filamentosa, plástica, elástica y rígida. Respetar el tiempo y las temperaturas durante el proceso garantiza que la polimerización se dé completa. Dos datos importantes:

- Temperaturas por debajo de 74 °C requiere más tiempo para la polimerización.
- Temperaturas cercanas a los 100 °C, aunque se requiere menos tiempo, se pueden fácilmente alcanzar temperaturas de ebullición del monómero de 108 °C, lo que produce burbujas, porosidad y opacidad, además de reducir las propiedades mecánicas de la prótesis.

Según la norma ADA, los acrílicos se pueden clasificar en dos tipos:

- Tipo I. Auto o Quimiopolimerizables.
- Tipo II. Termopolimerizables o Termoprocесables.

### **Propiedades fisicoquímicas**

Por lo general, el material se encuentra en polvo o polímero pre polimerizado y en un líquido o monómero. Cuando se mezclan, generalmente en proporción 3:1 en volumen y 2:1 en peso, se presentan cinco diferentes etapas:

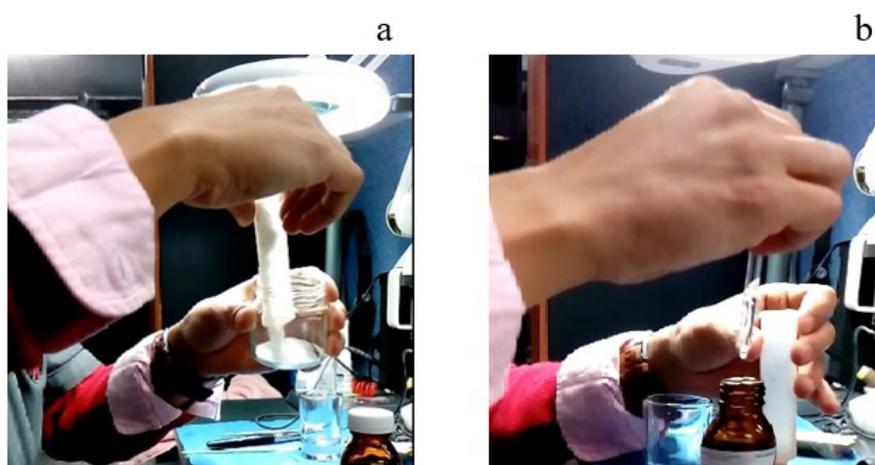
- Arenosa
  - La consistencia de la mezcla es «granulosa» o «áspera».
  - Las esferas del polímero pueden permanecer inalteradas.

- Filamentosa
  - Al tacto la mezcla es pegajosa.
  - Algunas cadenas de polímero son dispersadas en el monómero.
  - Existen algunas cadenas de polímero que aumentan la viscosidad.
- Pastosa
  - En esta etapa es cuando se debe manipular el material para cualquier uso.
  - Llega a este punto en menos de 10 minutos.
  - La masa es pastosa.
  - Hay una gran cantidad de polímeros no disueltos.
- Hulosa o elástica
  - La masa rebota cuando se comprime o estira.
  - No puede ser moldeada por técnicas de compresión.
  - El monómero es disipado por evaporación, el resto penetra dentro de las esferas de polímero.
- Rígida
  - Luego de cierto tiempo el material empieza a endurecer.
  - Se ha evaporado todo el monómero libre.
  - La mezcla está seca y resiste deformación mecánica.

En el caso de las resinas autopolimerizables, este proceso se da en un tiempo máximo de 10 a 15 minutos hasta su etapa final. Mientras que en el caso de las resinas termopolimerizables, se sumergen las mufas (molde donde colocamos el acrílico) en agua a diferentes temperaturas con el fin de proporcionar el calor necesario para que se dé la polimerización.

### **Proceso de fabricación**

La preparación del material PMMA se realizó apegada a las instrucciones del fabricante, las cuales se basan en las normas ADA 12, 13 y 15 en el uso de acrílicos. En un inicio, en recipientes separados con graduación en unidades de volumen mililitros (ml), se coloca el material en polvo y líquido respectivamente. Primero se emplean dos jeringas graduadas en las cuales se vierte los dos materiales en las proporciones recomendadas: 3 ml de polvo por 1 ml de líquido (Figura 2).



**Figura 2.** 3 ml de polvo (a), 1 ml de líquido (b).

Después se inicia el proceso de mezclado de ambos materiales comenzando por vaciar el polvo poco a poco en el líquido sin olvidar las recomendaciones del fabricante, apegadas a las normas antes mencionadas (Figura 3).



**Figura 3.** Mezclado del material polvo y líquido.

Después de combinar ambos materiales con una espátula, se lleva a cabo la mezcla con movimientos suaves, se cubre y se deja reposar por 10 minutos aproximadamente, a una temperatura ambiente de 15 °C. Esta temperatura es imperativa para el proceso; particular atención debe tomarse en los meses del verano debido a que la temperatura es alta y dificulta el tiempo suficiente para manipular el material (Figura 4).



**Figura 4.** Mezcla final del líquido y polvo de PMMA.

A partir de este momento, el material pasará por las cinco etapas fisicoquímicas ya mencionadas, iniciando con la etapa arenosa, posteriormente filamentosa, la tercera etapa pastosa se alcanza en 10 minutos aproximadamente, después de mezclar ambos materiales y es cuando el material se debe manipular para cualquier uso (Figura 5).



**Figura 5.** Manipulación del PMMA en su etapa pastosa.

Para la elaboración del polímero, se construyeron varios moldes para contener el material durante el proceso de fabricación, el primer molde utilizado se muestra en la Figura 5 y tiene la nominación A1. El propósito de este procedimiento es compactar el material con el fin de expulsar

posibles burbujas atrapadas en el mezclado previo y mejorar las propiedades del polímero resultante. Para establecer una referencia de la presión aplicada, se utilizó un torquímetro automotriz con el cual se aplicó un par de 100 lb/ft sobre el tornillo como se observa en la Figura 5c.

A continuación se deja reposar el material por 10 minutos para proceder con el proceso de termo-curado. Esta etapa se inició sumergiendo la prensa que contiene el material en un recipiente con agua a temperatura ambiente y a presión atmosférica procediendo enseguida a aplicar calor por 30 minutos; durante este periodo se controla la temperatura del agua para que no supere los 60 °C (Figura 6).



**Figura 6.** Proceso de termo-curado.

Transcurrido los 30 minutos, se incrementa la flama para aumentar la temperatura a 75 °C por los siguientes 30 minutos, teniendo cuidado de no superar la anterior temperatura. Finalmente, se deja cocer el material por 1 hora adicional a la temperatura de 95 °C. Este proceso de termo-curado se ha llevado a cabo apegándose a las recomendaciones del fabricante que corresponden a las normas ADA.



**Figura 7.** Enfriamiento del material.

Finalmente, se retira la prensa (mufla en el argot odontológico), y se coloca en el chorro de agua para enfriar el material; al final se deja 10 minutos a temperatura ambiente (Figura 7). La última etapa en el proceso de termo-curado consiste en retirar el molde de la prensa, así como retirar el material acrílico del recipiente molde. La fabricación del acrílico con el perfil cilíndrico del molde (Figura 8).



**Figura 8.** Muestra obtenida de PMMA.

### **Enmuflado de material**

Con objeto de producir probetas de ensayo de PMMA en serie para fatiga ultrasónica, se investigaron diferentes opciones para la prensa utilizada en el proceso de termo-curado: los modelos A2 y A3 mostrados en la Figura 9, corresponden a la fabricación simultánea de seis y nueve probetas, respectivamente. La fabricación simultánea de varias probetas no condujo a una disminución de sus propiedades, permitiendo ahorrar tiempos en el proceso de fabricación.



**Modelo A2**



**Modelo A3**

**Figura 9.** Moldes preliminares para fabricación de probetas.

El modelo de prensa (mufla), finalmente utilizado en este trabajo corresponde a A4 como se muestra en la Figura 10. Esta prensa comprende un total de cinco probetas que se obtienen a partir de dos placas previamente maquinadas con el semi-perfil de las probetas, y presentan la facilidad de extracción al final del proceso mediante la separación de las placas.



Modelo A4

**Figura 10.** Molde definitivo para fabricación de probetas.

En la Figura 11 se muestra una serie de probetas cilíndricas obtenidas mediante el proceso previamente descrito.



**Figura 11.** Obtención del material.

Es importante mencionar que al no tomar en cuenta las normas dentales para la manipulación del material, las condiciones ambientales y las recomendaciones del fabricante, puede darnos resultados de fabricación con defectos o mal formación de piezas a base de PMMA (Figura 12). Es

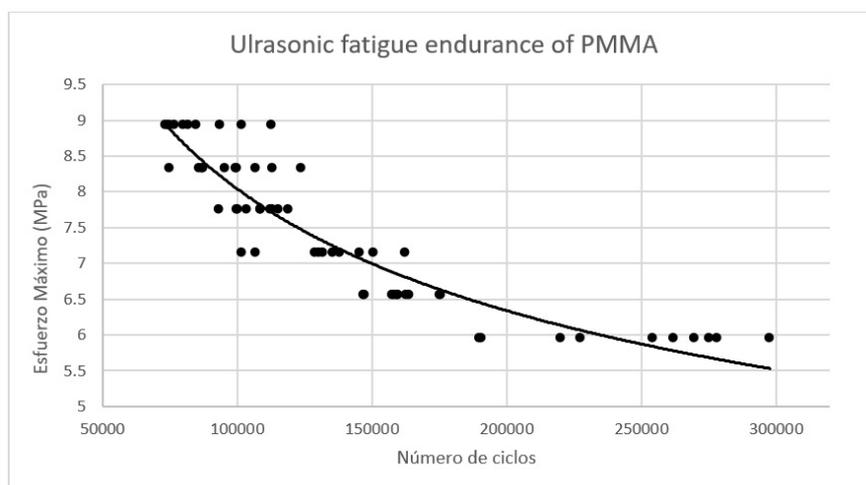
importante cuidar las porciones de mezcla, los tiempos de termo-curado, las temperaturas durante el proceso y la manipulación del mismo.



**Figura 12.** Proceso de mala fabricación del material PMMA.

El concepto de fatiga se introdujo para describir a la fractura a partir de los trabajos realizados en Alemania desde los años 1850 y 1860 por August Wöhler, pionero en el estudio de la fatiga mecánica para describir las fallas que ocurrían por esfuerzos repetidos.

La aplicación industrial de los polímeros crece aceleradamente, esta tendencia también es válida para los usos médicos y odontológicos. Las pruebas a las que actualmente se someten son a resistencia a la compresión, tracción, cizallamiento, entre otras. Las pruebas de fatiga ultrasónica permiten conocer en menor tiempo los resultados de fatiga. La gráfica correspondiente a los ensayos en fatiga ultrasónica del material PMMA sumergidos en agua se presenta en la Figura 13.



**Figura 13.** Gráfica de Wöhler para el PMMA.

Con dicha gráfica se realiza la evaluación de durabilidad del PMMA para elaboración de prótesis odontológicas. Cumplir con el protocolo de fabricación del PMMA, permite al mecánico dental reducir las imperfecciones de elaboración y obtener un mejor resultado de durabilidad de la prótesis.

## Conclusiones

El proceso de elaboración de una prótesis mediante PMMA es secuencial, no respetar los tiempos y medidas adecuadas de manipulación, da como resultado prótesis poco duraderas con defecto de fabricación. El evaluar mecánicamente este material permite determinar la durabilidad de una prótesis a partir del proceso de fabricación, para obtener prótesis duraderas y eficientes. Ensayos de fatiga mecánica ultrasónica, previa simulación del material mediante software ANSYS realizados a este material, nos permite determinar la durabilidad de una prótesis dental, tomando en cuenta la cantidad de masticadas promedio y fuerza promedio de la mordida de una persona durante el día.

La mordida promedio de los humanos es de 10 kg/cm<sup>2</sup> (0.98MPa), alcanzando su máximo de fuerza de hasta 77 kg/cm<sup>2</sup> (7.55MPa). Evaluamos la mordida promedio y mordida máxima sobre la tabla de fatiga del PMMA, obteniendo la durabilidad de la prótesis odontológica referente a la parte mecánica de tensión compresión, la cual alcanza más de (10<sup>6</sup>)10 millones de ciclos para la mordida promedio y 100 mil ciclos (1<sup>5</sup>) considerando la máxima, determinando una durabilidad de aproximadamente dos y 13 años, respectivamente.

Los ensayos previos de fatiga mecánica ultrasónica, permitieron obtener su gráfica de respuesta, llamada Gráfica de Wöhler, la cual muestra los números de ciclos a los que fue sometido el material respecto a los esfuerzos.

## Bibliografía

- Braden, M. (1964). The absorption of water by acrylic resins and other materials. *J Prosthet Dent.*, 14, 307-316.
- Castellanos Albores, L. C. (2014). Evaluation of the water sorption and porosity of three resin denture base materials. *Revista ADM*, 71(3), 136-141.
- Dixon, D. L., Ekstrand, K. G. y Breending, L. C. (1991). The transverse strengths of three denture base resins. *J Prosthet Dent.*, 66, 510-513.
- Domínguez Almaraz, G. M. y Correa Gómez, E. (2011). Ultrasonic Fatigue Endurance Investigation on Plastic Material Nylon 6. *Materials Sciences and Applications*, 2, 1293-1297. DOI:10.4236/msa.2011.29174
- Fujii, K. (1989). Fatigue Properties of Acrylic Denture Base Resins. *Dental Materials Journal*, 8(2), 243-259.
- Infante, R. (2010). *Polímeros biodegradables, biopolímeros, ingeniería de tejidos, cáncer y odontología*. Universidad de Valladolid, España.
- Osswald, T. (2010). *Understanding polymer processing: processes and governing equation*. Hanser Publishers, Chapter 2, Munich, Germany.

- Park, S. E., Chao, M. y Raj, P. A. (2009). Mechanical properties of surface-charged Poly(Methyl Methacrylate) as denture resins. *International Journal of Dentistry*, 2009, Article ID 841431, 1-6.
- Spasojevic, P., Zrilic, M., Panic, V., Stamenkovic, D., Seslija, S. y Velickovic S. (2015). The mechanical properties of a poly(methyl methacrylate) denture base material modified with dimethyl itaconate and di-*n*-butyl itaconate. *International Journal of Polymer Science*, 2015, Article ID 561012, 1-9.
- Tanaka, T. y Setcos, J. C. (1989). Resin denture bases: review of accuracy and methods of polymerization. *International Journal of Prosthodontics*, 2(6), 555-562.
- Yannikakis. S., Zissis, A., Polyzois, G. y Andreopoulos, A. (2002). Evaluation of porosity in microwave-processed acrylic resin using a photographic method. *J Prosthet Dent.*, 87, 613-619.

## **Influencia de los procesos RSW y RSEW en la vida útil de los contenedores de agua empleados en calentadores solares manufacturados con acero inoxidable AISI 304**

Alejandro López López  
Eréndira Rangel García  
José Nicolás Ponciano Guzmán  
José Jorge Tena Martínez  
Leonel Ceja Cárdenas

### **Introducción**

Los procesos de soldadura por resistencia (RSW, *Resistance Spot Welding* y RSEW, *Resistance Seam Welding*) son ampliamente usados en la industria manufacturera para la fabricación de tanques de almacenamiento de agua caliente, empleados para calentadores solares. Aprovechando las propiedades de conducción térmica y anticorrosivas del acero inoxidable AISI 304, se elaboran los tanques almacenadores de agua (García y Pilatowsky, 2017). Sin embargo, debido al mal manejo del proceso de soldado los materiales presentan problemas de unión, junto con agrietamiento en caliente. En consecuencia, la vida útil del producto estimada en 25 años se ve reducida a un aproximado de cinco años. Tomando en cuenta lo anterior, se presenta el estudio de microanálisis del acero inoxidable AISI 304, unido por los procesos de soldadura RSW y RSEW.

### **Planteamiento teórico**

De acuerdo a sus características, los aceros inoxidables pueden dividirse en las siguientes cinco familias:

- Aceros inoxidables austeníticos
- Aceros inoxidables ferríticos
- Aceros inoxidables martensíticos
- Aceros inoxidables dúplex
- Aceros endurecidos por precipitación

Uno de los aceros inoxidables austeníticos más empleados es el AISI 304, también conocido como 18/8. De acuerdo a la ASTM, se tiene en su composición 18Cr-8Ni-2Mn-0.75Si-0.08C (% en peso). Con su contenido de cromo-níquel y bajo carbono es el más versátil. Puede ser soldado por técnicas convencionales, por ejemplo, por fusión y resistencia (GTAW, GMAW, MIG, SAW,

RSW y RSEW). Sin embargo, el acero inoxidable 304 se caracteriza por ser susceptible a la corrosión intergranular en la zona afectada térmicamente por la soldadura cuando la aleación es enfriada o recalentada dentro de un rango de temperatura de 550 a 800 °C (İbrahim y Samur, 2013; Mohd *et al.*, 2012).

#### *Soldadura por puntos de resistencia*

La soldadura por puntos de resistencia (RSW) es un proceso donde se emplea corriente eléctrica, la cual se hace pasar a través de las piezas que se mantienen unidas mediante electrodos. Las superficies se calientan mediante pulsos de bajo voltaje y alta corriente. RSW tiene la ventaja de producir soldaduras consistentes, de bajo costo y alta velocidad, incluso al usar operadores con poco entrenamiento; sin embargo, no es ideal para producir uniones que contengan gases o líquidos, como las uniones producidas por otros procesos mecánicos.

RSW es ampliamente usado en la industria automotriz, aplicaciones domésticas, ornamental, productos de construcción y, en menor cantidad, para componentes aéreos (Alley *et al.*, 1993). Los procesos llevados a cabo con RSW son altamente automatizados, siendo en general de tres tipos básicos:

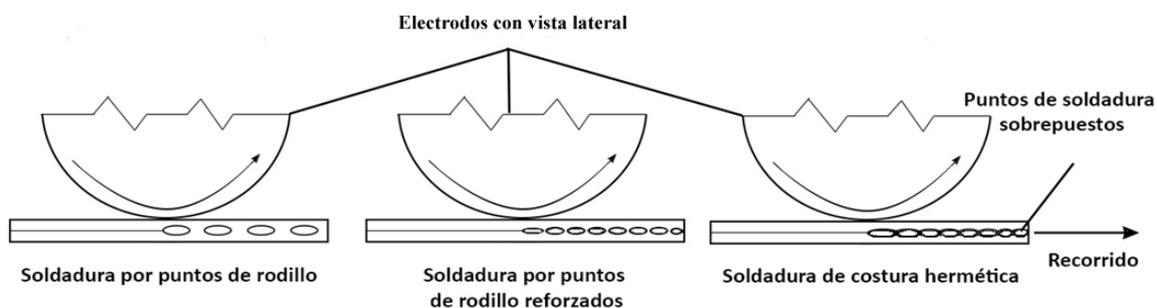
- Tipo pedestal
- Soldadora portable
- Máquinas con múltiples unidades de soldadura.

El carbón es el elemento de mayor impacto en la soldabilidad de los aceros debido a que la dureza del material aumenta rápidamente con pequeños incrementos de carbón, teniendo como efecto agrietamiento y posterior deterioro en los puntos de soldadura. El contenido de carbón debe de mantenerse debajo de  $0.10\% + 0.3t$ , donde  $t$  es el grosor en pulgadas de la hoja de acero. Para materiales con mayores cantidades de carbón, puede ser necesario un proceso de templado posterior a la soldadura.

#### *Soldadura por costura*

El principio de funcionamiento del proceso RSEW es igual al proceso RSW, con la diferencia de que en el proceso de soldadura RSEW se cuenta con electrodos circulares, los cuales son usados para aplicar corriente y presión entre las piezas de trabajo. Las costuras producidas por el proceso RSEW pueden variar en tipos mostrados en la Ilustración 1.

- Soldadura por puntos de rodillo (Donde existe una separación entre los puntos de soldadura).
- Soldadura por puntos de rodillo reforzados (La separación entre los puntos de soldadura es menor).
- Soldadura de costura hermética (Superposición de puntos)
- 
- 



**Ilustración 1.** Distintos tipos de costura producidas por RSEW (Alley *et al.*, 1993).

Para optimizar el proceso RSEW, se deben de tener en cuenta los siguientes factores:

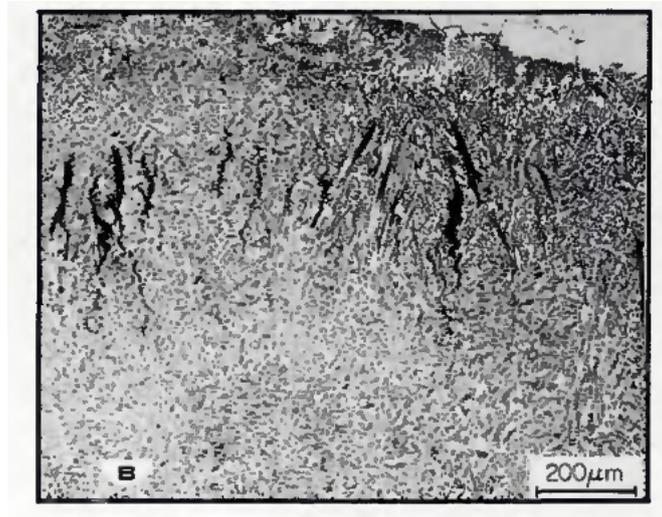
- Velocidad de soldadura
- Sistemas de enfriamiento
- Electroodos
- Magnitud de la corriente
- Fuerza empleada
- Tiempo de soldadura

#### *Agrietamiento en caliente*

El agrietamiento en caliente es un defecto formado durante la solidificación y/o licuación. Las grietas por licuación se presentan en las zonas afectadas térmicamente debido al esfuerzo térmico, la cual puede propagarse hasta la zona de fusión (Yusof y Jamaluddin, 2014) y es ocasionado principalmente por impurezas, como azufre y fósforo, incrementando la susceptibilidad al

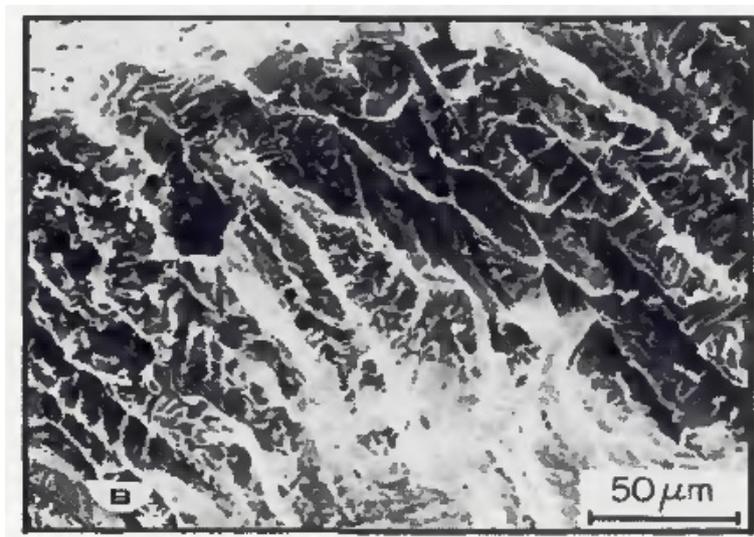
agrietamiento. Dependiendo del autor, la ferrita delta en cantidades de entre 5 y 20 % (Kujanpaa *et al.*, 1986) o 3 y 5 % (Mohd *et al.*, 2012), previene el agrietamiento en caliente en muchos de los aceros inoxidable.

El acero inoxidable 304 presenta agrietamientos intragranulares (interdendrítico en naturaleza), debido a la solidificación de la ferrita, en la Ilustración 2 se muestran grietas en la microestructura de la soldadura.



**Ilustración 2.** Grietas en la microestructura de un acero inoxidable 304 soldado (Kujanpaa *et al.*, 1986).

En la Ilustración 3 se muestra otra forma de grieta, debido a temperaturas elevadas en presencia de líquido (Kujanpaa *et al.*, 1986).



**Ilustración 3.** Grietas formadas en un acero inoxidable 310 (Kujanpaa *et al.*, 1986).

## Desarrollo experimental

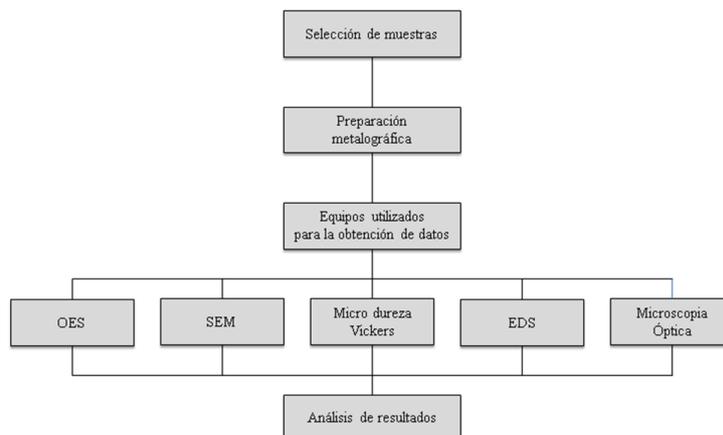
Para la selección de muestras se recolectan los materiales base y materiales que han pasado por los procesos de soldadura RSW y RSEW. Las piezas a analizar pertenecen al cuerpo del tanque contenedor de agua de acero inoxidable AISI 304. Se obtienen cinco muestras: la primera de 6.2 cm por 2.5 cm, de la dos a la cinco se emplea un tamaño a un 1 cm<sup>2</sup> (el espesor de las láminas es de 0.41 mm) como se aprecia en la Ilustración 4, donde se aplica el proceso de soldadura y posteriormente se realiza un corte transversal. Para la preparación metalográfica de la muestra uno, se usaron cuatro tipos de lijas (180, 280, 320 y 400) y para las muestras dos a cinco se emplearon ocho tipos de lijas, (280, 320, 400, 600, 1000, 1200, 1500 y 2000).

Para obtener una superficie limpia y con un efecto espejo, en las muestras de la dos a la cinco se utilizó una pulidora metalográfica Struers LaboPol-5, con un paño microcloth de 8 pulgadas de diámetro, añadiendo como lubricante alcohol y alúmina en polvo micropolish B gamma de 0.3 micras. El ataque químico de las muestras dos a cinco se llevó a cabo con agua regia, con las cantidades de 10 mL de ácido nítrico y 30 mL de ácido clorhídrico. La muestra uno es analizada con la técnica OES, mientras que las muestras dos y tres son analizadas con las técnicas de microscopía óptica y prueba de microdureza vickers, y las muestras cuatro y cinco se analizan con los equipos SEM-EDS.



**Ilustración 4.** Ejemplo del seccionamiento de las muestras dos a cinco para analizar (Se toma como ejemplo el proceso RSEW).

En la Ilustración 5 se muestra un diagrama del proceso experimental para el desarrollo de este estudio.



**Ilustración 5.** Diagrama de procedimiento experimental.

## Análisis y discusión de resultados

El material base del acero inoxidable AISI 304 cuenta con un tamaño de grano de 50  $\mu\text{m}$  y una microdureza de 212HV. En la Tabla 2 se observa la composición química del material base por las técnicas EDS y OES, como referencia se añade la composición química del acero inoxidable AISI 304 descrita por la norma ASTM.

**Tabla 2**

Composición del acero inoxidable AISI 304 (Técnicas EDS y OES) (López *et al.*, 2020).

Composición química del acero inoxidable AISI 304 (% en peso)							
Elemento	Carbón	Silicio	Manganeso	Cromo	Níquel	Azufre	Fósforo
EDS	NA	0.35	NA	17.18	7.74	NA	NA
OES	0.58	0.324	1.151	17.5	8.24	0.0005	0.042
ASTM	0.08	0.75	2	18-20	8-10	0.03	0.045

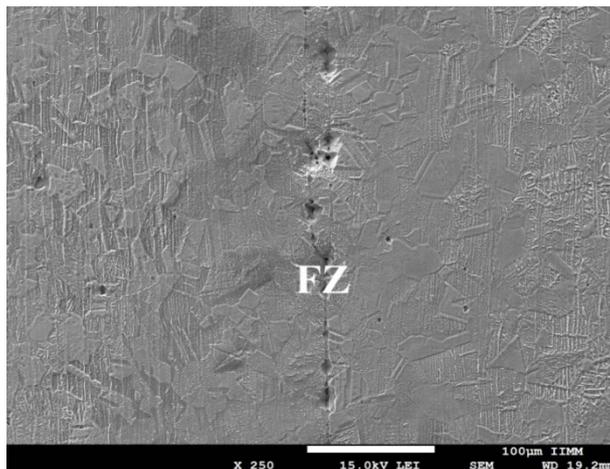
Parámetros del proceso de soldadura RSW: 10 kA y 1 kN. En la Ilustración 6 se observa la unión realizada por el proceso RSW, donde se aprecia que los materiales no se unieron de manera adecuada, ya que es posible ver una línea de separación entre las placas del cuerpo del tanque contenedor de agua. Ese mismo comportamiento se logró notar en el proceso de soldadura RSEW.



**Ilustración 6.** Unión inadecuada de placas de acero inoxidable AISI 304 por medio del proceso RSW.

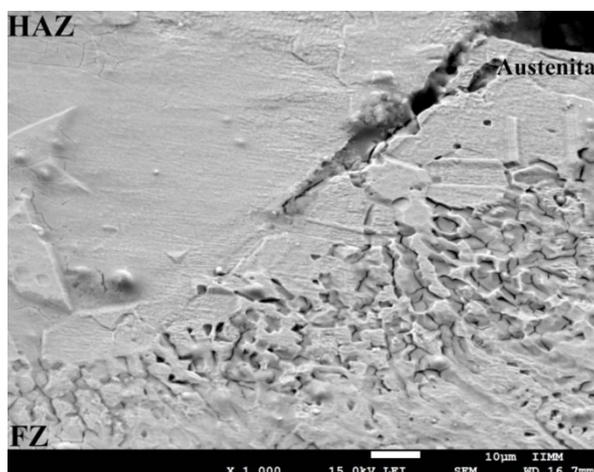
En la parte superior de la Ilustración 6 se observa la sensibilización del material debido al proceso de soldadura. La microestructura del material se mantiene completamente austenítica.

En la Ilustración 7 se observa la morfología del proceso de soldadura RSW donde se generaron microgrietas en la zona de fusión, aunado a una mala penetración del proceso de soldadura.



**Ilustración 7.** Micrografía a 250X mostrando fallas en la soldadura RSW.

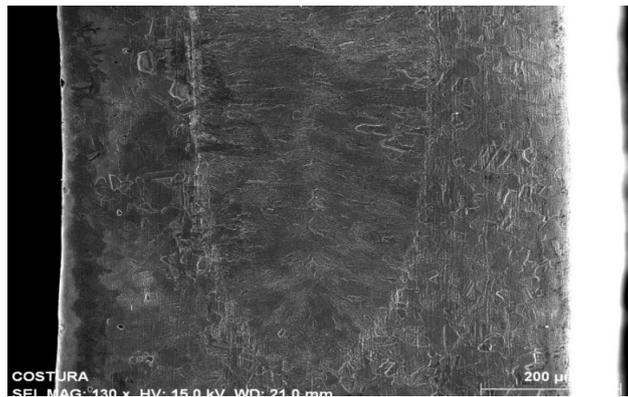
Una de las razones por las que se pueden generar microgrietas en la zona de fusión, es por la cantidad de calor aplicada, la cual en este caso, no fue la necesaria para que los materiales se unieran de manera adecuada. El mismo problema se pudo ver en otro componente del tanque contenedor de agua (tapa). En la Ilustración 8 se aprecia mejor el problema que puede surgir cuando el acero inoxidable AISI 304 recrystaliza en austenita, la cual es propensa a generar microgrietas posterior al proceso de soldadura.



**Ilustración 8.** Micrografía a 1000X de la falla en la unión entre la tapa y el tubo (López et al., 2020).

Otros problemas que se observaron fueron que en el proceso no se realiza una preparación previa del material, en el caso del proceso de soldadura RSW, se tiene el inconveniente de que los materiales con recubrimientos no se pueden soldar de manera adecuada, ya que el recubrimiento tiende a adherirse a los electrodos, lo que ocasiona que se dañen con mayor rapidez y la cantidad de calor necesaria para unir los materiales no se aplique correctamente por la diferencia de la conductividad térmica.

Posterior al proceso de soldadura RSW se obtuvieron valores de microdureza de: 234HV en la zona de afectación térmica y 239HV en la zona de fusión. Con una penetración de soldadura de 21  $\mu\text{m}$ , aplastamiento de 45  $\mu\text{m}$  entre placas y un diámetro de punto de soldadura de 0.77 mm. Mientras que en la aplicación del proceso de soldadura RSEW, se llevó a cabo con 7 kA, una velocidad del proceso de 3.5 cm/s y 4.5 kN de fuerza aplicada. La Ilustración 9 muestra un punto adecuado de soldadura realizado con el proceso RSEW.



**Ilustración 9.** Micrografía a 130X de la zona de fusión (FZ) del proceso RSEW.

La penetración de soldadura se calculó en 350  $\mu\text{m}$ , con un diámetro del punto de soldadura en 1.6 mm, con un valor de aplastamiento entre placas de 110  $\mu\text{m}$ . Los valores de microdureza se obtuvieron de 255HV en la zona afectada térmicamente y 241HV en la zona de fusión. En la Ilustración 10 se observan las características usuales de un punto de soldadura realizado con el proceso de resistencia por costura.



**Ilustración 10.** Micrografía a 500X de la zona de afectación térmica (HAZ) y zona de fusión (FZ), mostrando una estructura austenítica y dendrítica.

En la zona de fusión se observan dendritas de austenita, debido al rápido enfriamiento del proceso de soldadura y en la zona afectada térmicamente un ligero crecimiento del tamaño de grano. A diferencia del proceso RSW, la soldadura por costura no tiene el problema de soldar sobre recubrimientos en otros materiales (a excepción de metales cromados o con lacas), por tal motivo, se puede observar una unión adecuada en la Ilustración 10; sin embargo es importante destacar que hay inconsistencias en el proceso de soldadura RSEW, ya que fue posible observar uniones inadecuadas como las que se ven en la Ilustración 6.

Los perfiles de microdureza de ambos procesos son más elevados de lo que se presenta en la teoría, ya que la zona de fusión y la zona afectada térmicamente deberían tener microdurezas más bajas que las del material base. El comportamiento general de la microdureza en los aceros inoxidables AISI 304, posterior a los procesos de soldadura por resistencia, es una disminución del 19 % en la ZAT y de 8 % en la zona de fusión. La microdureza de la zona afectada térmicamente puede variar dependiendo de la forma en la que solidifiquen los granos, así como la precipitación de carburos, los cuales pueden hacer más duro el material (Marashi *et al.*, 2008).

En este estudio, en las muestras cuatro y cinco la microdureza se vio incrementada respectivamente en un 29 % y 40 % en la zona de afectación térmica, mientras que las zonas de fusión presentan un incremento en la microdureza de un 22 % aproximadamente, respecto a los resultados obtenidos en el estudio (Marashi *et al.*, 2008).

## Conclusiones

El proceso de soldadura RSW y RSEW muestra inconsistencias al momento de realizar las soldaduras, donde la unión de los materiales no se lleva a cabo en su totalidad como se observa en la Ilustración 6.

El proceso de soldadura RSW no se está realizando de manera adecuada, ya que para los espesores de las placas empleadas, un punto de soldadura óptimo estaría en el rango de 1 mm a 1.6 mm; sin embargo, se están obteniendo puntos de soldadura de entre 0.77 mm hasta 2 mm, con baja o nula penetración de la soldadura, lo que implica que la punta del electrodo se haya deteriorado y el electrodo no haya sido cambiado o recubierto, aunado a la falta de preparación de los materiales.

La micrografía de la Ilustración 10 muestra un punto de soldadura idóneo para el proceso RSEW, ya que se observan dendritas de austenita en la zona de fusión y un ligero crecimiento de grano en la zona de afectación térmica con un diámetro de 1.6 mm, el cual es adecuado para los espesores de las placas empleadas.

El proceso de soldadura RSW está generando microgrietas en la unión de los materiales, lo que puede traer problemas en la vida útil del cuerpo del tanque contenedor de agua en ambientes salinos.

Las microdureza del proceso RSW aumentó de forma anormal en 29 % y 22 % en la zona de afectación térmica y zona de fusión, respectivamente. De igual forma en el proceso de soldadura RSEW se observa un incremento anormal de 40 % en la zona afectada térmicamente y 22 % en la zona de fusión.

## Referencias

- Abd Rashid, M. W., Gakim, M., Mohd Rosli, Z. y Asyadi Azam, M. (2012). Formation of Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> during the Sensitization of AISI 304 Stainless Steel and its Effect to Pitting Corrosion. *International Journal of Electromechanical Science*, 7, 9465-9477.
- Alley, R. L *et al.* (1993). *Welding Brazing and Soldering*. ASM International, vol. 6.
- García Valladares, O. y Pilatowsky Figueroa, I. (2017). *Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicios e industrial*. Instituto de Energías Renovables, México.
- Kujanpaa, V. P. *et al.* (1986). Formation of cracks in austenitic stainless steel welds - solidification cracking. *Welding Research Council*, (314), 203-S - 212-S.
- Kurt, H. I. y Samur, R. (2013). Study on Microstructure, Tensile Test and Hardness 304 Stainless Steel Jointed by TIG Welding. *International Journal of Science and Technology*, 2(2), 163-168.
- López López, A., Rangel García, E., Ponciano Guzmán, J., Tena Martínez, J. y Ceja Cárdenas, L. (2020). Análisis microestructural de un acero inoxidable 304 desarrollado para identificar los problemas de manufactura de un tanque calentador de agua. *Academia Journals*, 12(8), 1300-1304.
- Marashi, P., Pouranvari, M., Sanaee, S., Abedi, A., Abootalebi, S. y Goodarzi, Y. (2008). Relationship between failure behaviour and weld fusion zone attributes of austenitic stainless steel resistance spot welds. *Materials Science and Technology*, 24 (2), 1506-1512.
- Yusof, F. y Jamaluddin, M. F. (2014). Welding Defects and Implications on Welded Assemblies. *Comprehensive Materials Processing*, 6, 125-134.

## **VII. Biomateriales y construcción**

## Aplicaciones del recubrimiento comestible en alimentos y potencial del uso de *OPUNTIA FICUS-INDICA*

Andrés Alejandro Damián Reyna  
Julián López Tinoco

### Introducción

El potencial de los recubrimientos comestibles ha sido reconocido por varios grupos de investigación como una alternativa al empaqueo convencional y para mejorar la protección de los alimentos. Sin embargo, sobre todas las ventajas de utilizar películas y recubrimientos comestibles, está el hecho de que varios compuestos bioactivos, como antioxidantes, antimicrobianos, sabores y probióticos (Özçelik *et al.*, 2011), pueden ser incorporados en la matriz polimérica para ser consumidos con el alimento, mejorando la seguridad e incluso los atributos nutritivos y sensoriales. De hecho, la incorporación de compuestos bioactivos en los recubrimientos comestibles puede ser una alternativa para protegerlos tanto del ambiente o del contacto con otros alimentos, como para proporcionar una liberación controlada de los compuestos bioactivos, a pesar de que la incorporación de estos agentes modifica las propiedades mecánicas, sensoriales e incluso funcionales de los recubrimientos (Quirós, 2014).

Varios de los compuestos encontrados en plantas, semillas y frutas se han estudiado para probar su resistencia al desarrollo de microorganismos (Bejarano y Centeno, 2009). Para optimizar el método de extracción del mucílago del nopal (*Opuntia ficus-indica*), se ha realizado una caracterización del mucílago extraído por diferentes procedimientos que ha puesto de manifiesto la influencia de dicho método en las características químicas (macro y microcomponentes) y físicas (comportamiento reológico, color, solubilidad) de los extractos. Los procedimientos de extracción de mucílago que incluye la disminución del pH y aumento de temperatura en la solución de extracción, han mostrado el mayor rendimiento.

En México, el cultivo y aprovechamiento del nopal (*Opuntia spp*) se centra en su utilización como fruta, hortaliza, forraje y para usos industriales. El nopal pertenece a la familia de las cactáceas que son plantas carnosas engrosadas y espinosas, y al género *Opuntia*, que se caracteriza por presentar tépalos extendidos con tallo articulado (Vázquez, 2014).

Las pencas o cladodios de nopal contienen una sustancia «viscosa» llamada mucílago, este es uno de los componentes más importantes ya que forma parte de la fibra dietética. Este compuesto se presenta tanto en los cladodios como en la piel y pulpa de la fruta, aunque en muy diversas proporciones. El mucílago del nopal es un polisacárido fibroso, altamente ramificado, cuyo peso molecular oscila alrededor de  $3.1 \times 10^6$  g/mol. Contiene aproximadamente de 35 a 40 % de arabinosa, 20 a 25 % de galactosa y xilosa, y de 7 a 8 % de ramnosa y ácido galacturónico (Vargas y Arroyo, 2015). El mucílago de nopal se considera importante para la industria de alimentos debido a sus propiedades de viscosidad. Tiene la capacidad de formar redes moleculares y retener fuertemente grandes cantidades de agua, así como de modificar propiedades como viscosidad, elasticidad, textura, retención de agua, además de que es un buen gelificante, espesante y emulsificante. Esta com-

posición química podría ser utilizada en la elaboración de películas y recubrimientos comestibles para frutas altamente perecederas y mínimamente procesadas (Domínguez, 2011).

Existen diferentes métodos de extracción de mucílago, tales como el decolorado, agitación magnética y agitación manual. Cada uno de ellos maneja factores similares como temperatura, tiempo de extracción, pH del solvente de extracción y proporciones del solvente. En este trabajo se presenta un estudio para el procesamiento óptimo de cladodios de nopal para la extracción de mucílago y su utilización en la síntesis de un recubrimiento comestible para aplicar en alimentos. Los objetivos incluyen un mayor rendimiento y presencia de proteínas, así como mejores propiedades mecánicas del recubrimiento obtenido.

## Antecedentes

Al regular transferencia de humedad, oxígeno, dióxido de carbono, aroma y compuestos de sabor en alimentos, los recubrimientos y películas comestibles han demostrado la capacidad de mejorar la calidad sensorial y nutricional, generar valor agregado y prolongar su vida de anaquel (Fernández, 2105).

Los polisacáridos son los hidrocoloides más utilizados en la industria alimenticia, ya que forman parte de la mayoría de las formulaciones que actualmente existen en el mercado. Sin embargo, una desventaja que presentan es que son hidrofóbicos y, por lo tanto, constituyen una pobre barrera a la pérdida de humedad. Los utilizados en la formación de recubrimientos comestibles son: las pectinas de alto y bajo metoxilo, la celulosa y sus derivados, el alginato, el quitosano, la dextrina, el carragenato, y las gomas arábicas, entre otros (Krochta y Mulder-Johnston, 1997).

Los almidones de diferentes fuentes como trigo, maíz, papa y yuca se han utilizado como recubrimientos, obteniendo películas con buenas propiedades de flexibilidad y permeabilidad al vapor de agua (Parra *et al.*, 2004). Igualmente (Dussán-Sarria *et al.*, 2014) con la incorporación de glicerol, cera de carnauba y aceite de canola en mangos cv Tommy Atkins mínimamente procesado, se conservaron los atributos de calidad sensorial, físicos y químicos, y se prolongó su vida útil hasta 24 días en condiciones de refrigeración ( $5\pm 1$  °C y  $90\pm 2$  % de HR); en relación a este mismo fruto, se han demostrado efectivos recubrimientos a base de cera de carnauba y cera de abejas en estudios realizados por Dang y colaboradores (2008).

La extracción del mucílago se ha llevado a cabo en diferentes tratamientos, encontrando que factores como la edad del cladodio y la características del solvente tienen una influencia significativa sobre el rendimiento de extracción, observando que los cladodios de un año y utilizando una relación de 1:3 de solvente formado por agua y etanol, dan buenos resultados, lo que permitió obtener una película con propiedades físicas adecuadas para su manejo y aplicación en alimentos (Abdehagh, 2014; Swanaa, 2011).

## Materiales y métodos

### *Preparación de la materia prima*

Las pencas del nopal se recolectaron del huerto del ITESP, ubicado en el interior de la institución. Se lavaron los cladodios para retirar impurezas que pudieran conllevar del huerto, se retiraron las

espinas y se cortaron en trozos de aproximadamente 1 cm<sup>3</sup> y se almacenaron a una temperatura de 4 °C, hasta su utilización.

#### *Extracción del mucílago*

Se pesaron los gramos a utilizar de nopal y se midieron los mililitros a utilizar del solvente de extracción (Tabla 1). Se dejaron reposar los trozos de nopal en el solvente de extracción a temperatura ambiente durante 90 min, aunado a esto, cada 15 min se hizo un proceso de mezclado para obtener una mayor cantidad de mucílago y, después de la completa disolución, la solución se filtró y se esterilizó a 121 °C durante 15 min, dejándose enfriar a temperatura ambiente. Se guardó en refrigeración hasta su uso.

**Tabla. 1**  
Diseño de experimentos para la extracción de mucílago de *Opuntia* spp

<b>Variable</b>	<b>-</b>	<b>+</b>
pH	5	7
Tiempo de extracción	30	90
Temperatura de extracción	25	35
g nopal: mL de solvente	1:1	1:3

#### *Pasteurización de la solución de mucílago*

Se colocaron los frascos de cristal con la solución de mucílago en agua en punto de ebullición durante 15 min, se enfriaron en un recipiente con hielo y agua. Se llevaron a refrigeración a 4 °C, hasta su utilización.

#### *Formación de la película*

La solución formadora de película se preparó mezclando 100 mL de solución de mucílago con 10 g de almidón y 1 g de glicerol. Se colocaron 20 mL de solución formadora de película en una caja Petri con un diámetro estándar de 90 mm, se secaron a temperatura ambiente por 72 h y se almacenaron en un desecador para posteriores análisis de caracterización.

*Recubrimiento de frutas*

Las frutas de prueba fueron adquiridas en comercios locales en la ciudad de Puruándiro, Michoacán. Se recubrieron mediante inmersión en la solución de mucílago, dejando secar la película durante media hora a condiciones ambientales.

*Análisis estadístico*

Todas las pruebas se realizaron por triplicado y al menos tres experimentos independientes. Los datos se presentan como el promedio  $\pm$  desviación estándar (SD). Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando STATGRAPHICS Centurión versión XVI.I (Statpoint Technologies, Inc., Warrenton, VA). Las diferencias entre los grupos son detectadas mediante ANOVA y prueba de comparación múltiple de Tukey. Se consideran los valores P menores a 0.05 como estadísticamente significativos.

**Resultados***Extracción del mucílago*

Utilizadas las condiciones de temperatura y proporción agua y nopal, de acuerdo con la determinación del rendimiento en cada una de las combinaciones, se determinó que los rendimientos de extracción del mucílago de nopal fueron de 0.738  $\pm$  0.120 con la combinación de 1:1, 35 °C, utilizando un método tradicional de extracción por agitación manual. Existió una diferencia de aproximadamente 0.3-0.4 gr entre cada una de las combinaciones aplicadas, lo cual se puede observar en la Tabla 2, en la cual se muestra el rendimiento con cada una de las combinaciones.

**Tabla. 2**  
Rendimiento de las combinaciones proporción/Temperatura

Proporción de solvente g nopal : mL de solvente	Temperatura (°C)	Rendimiento (%)
1:1	25	0.380 $\pm$ 0.290 <sup>b</sup>
1:1	35	0.589 $\pm$ 0.071 <sup>a,b</sup>
1:2	30	0.546 $\pm$ 0.069 <sup>a,b</sup>
1:3	25	0.537 $\pm$ 0.060 <sup>a,b</sup>
1:3	35	0.738 $\pm$ 0.120 <sup>a</sup>

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparando cada una de las combinaciones, observamos que la que obtuvo una menor extracción de cantidad de mucílago fue la de 1:1, 25 °C, uno de los factores puede ser la muy baja temperatura, por lo que no puede tener un proceso de semi-cocción lo que afecta la extracción, por el contrario, al tener una temperatura elevada el proceso de semi-cocción es más seguro y la extracción más elevada, además de que los componentes de estos mucílagos son más elevados. Cuando se tiene una mayor cantidad de factores o variables independientes, el rendimiento se verá más afectado.

Se encontraron las condiciones óptimas para la extracción del mucílago del nopal donde se obtuvo mayor rendimiento. En la Tabla 3 se observan los resultados para las combinaciones de tiempo y pH.

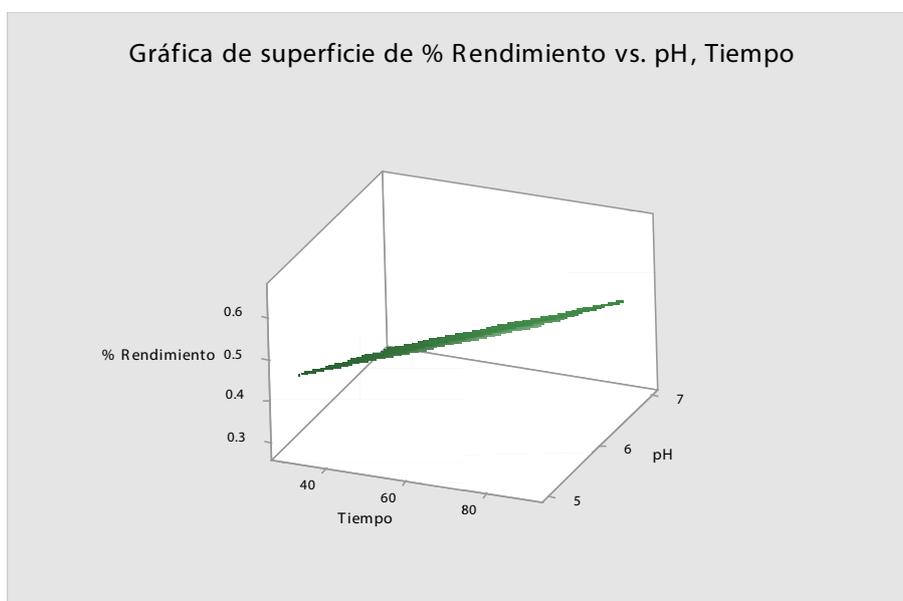
**Tabla. 3**  
Rendimiento de las combinaciones Tiempo/pH

Tiempo (min)	pH	Rendimiento (%)
30	5	0.490 +/- 0.056 <sup>a,b</sup>
30	7	0.255 +/- 0.025 <sup>c</sup>
60	6	0.444 +/- 0.051 <sup>b</sup>
90	5	0.633 +/- 0.117 <sup>a</sup>
90	7	0.528 +/- 0.047 <sup>a,b</sup>

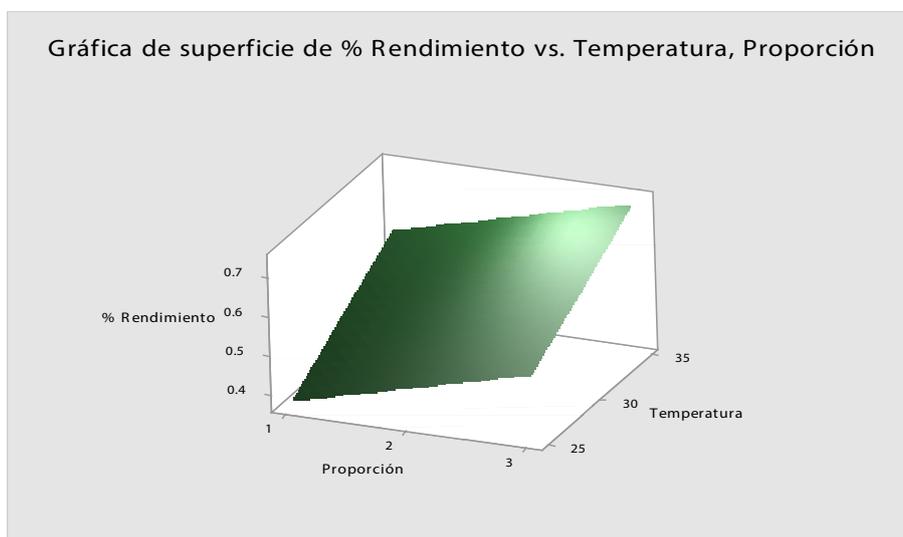
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Las relaciones de nopal/agua de 1:1, con el pH del solvente de 5 y un tiempo de reposado de 90 min, teniendo como rendimiento un 0.73 %, se destacó de las demás relaciones y fueron las óptimas para obtener un mejor y mayor rendimiento de la extracción de mucílago de nopal.

Se determinó que las condiciones que permitieron el mejor rendimiento de extracción del mucílago de nopal de 0.738 % fueron la combinación de proporción nopal: solución de extracción 1:3, utilizando la solución de extracción a 35 °C (Figura 1), pH = 5 y permitiendo que se realice la extracción durante 90 min (Figura 2). Este rendimiento concuerda con el obtenido por Cárdenas y colaboradores (1997), quienes reportan un rendimiento de 0.07 g de mucílago /100g nopal fresco.



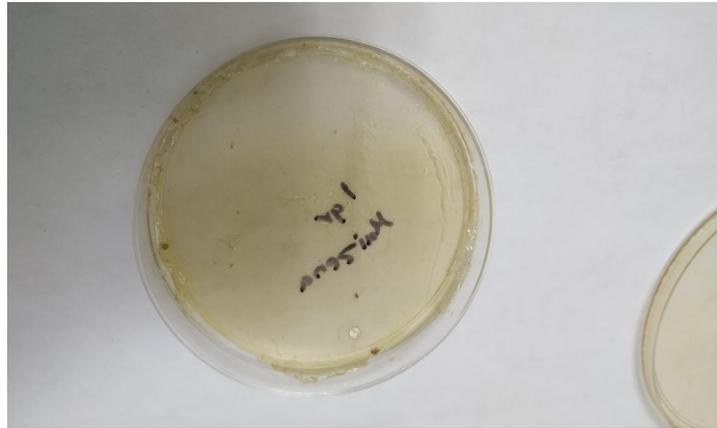
**Figura 1.** Superficie de respuesta para pH y tiempo de extracción.



**Figura 2.** Superficie de respuesta para Temperatura y Proporción de agente de extracción.

### *Formación de la película*

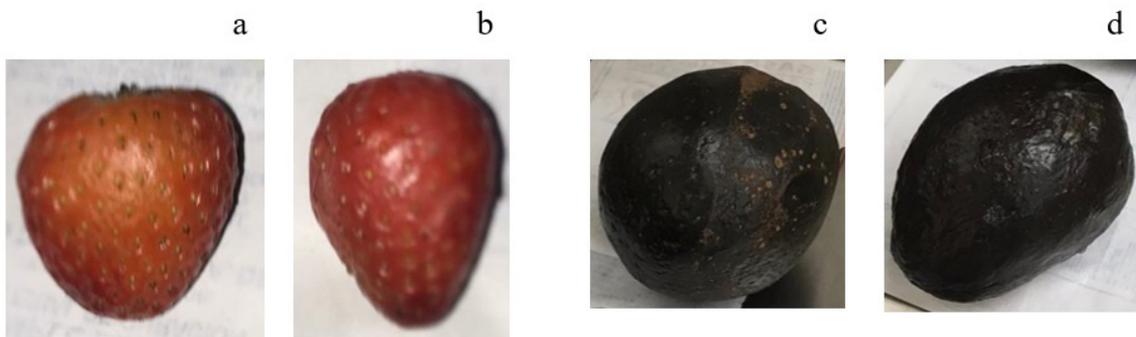
Las películas obtenidas mostraron buena apariencia y propiedades mecánicas, tales como transparencia y elasticidad al tacto (Figura 3).



**Figura 3.** Película obtenida de 20 mL de solución formadora.

### *Recubrimiento en frutas*

Las frutas recubiertas resultaron con una apariencia brillante, lo que mejora su aspecto y potencia las características que permitirán que sea preferida por el consumidor final (Figura 4).



**Figura 4.** Mejoramiento de la apariencia de las frutas: a) fresa sin recubrimiento, b) fresa con recubrimiento, c) aguacate sin recubrimiento, d) aguacate con recubrimiento.

### **Conclusiones**

Es posible extraer mucílago a partir de *Opuntia ficus-indica* con características ideales para la formulación de un recubrimiento comestible.

Las relaciones de solvente de extracción y temperatura que se han considerado en el proceso de extracción de mucílago son significativas. Utilizar un mayor tiempo de extracción afecta favorablemente al proceso, así como una mayor temperatura y cantidad de solución de extracción; mientras que la acidez de la solución de extracción, promueve la separación del mucílago. Ambos factores utilizados tienen influencia en el rendimiento de extracción, siendo la proporción de solvente el factor que tiene mayor influencia. La combinación de estas condiciones aporta aumento en el rendimiento del proceso de extracción de mucílago de *Opuntia ficus-indica*. El método utilizado facilita su obtención y con un mayor rendimiento, lo que puede contribuir a la elaboración de productos derivados del mucílago de nopal.

## Bibliografía

- Abdehagh, N. T. (2014). Separation techniques in butanol production: Challenges and developments. *Biomass and Bioenergy*, 60, 222-246.
- Bejarano-Rodríguez, R. J. y Centeno-Briceño, S. J. (2009). Extracto de *Citrus limon* para el control de aflatoxinas y hongos aflatoxigénicos en alimentos concentrados para pollos de engorde producidos en Venezuela. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 29(1), 57-61.
- Cárdenas, A., Higuera, C. I. y Goycoolea, F. (1997). Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus-indica*) mucilage in solution. *J. Profess. Assoc. Cactus Develop*, 2, 152-159.
- Dang, K., Singh, Z. y Swinny, E. (2008). Edible coatings influence fruit ripening, quality and aroma biosynthesis in mango fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(4): 1361-1370.
- Del-Valle, V., Hernández-Muñoz, P., Guarda, A. y Galotto, M. (2005). Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chemistry*, 91(4), 751-756.
- Domínguez, V., Zegbe Domínguez, J. A., Alvarado Nava, M. D. y Covarrubias, J. M. (2011). *Extracción y purificación de mucílago de nopal*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Norte-Centro, Campo Experimental Zacatecas.
- Dussán-Sarria, S., Torres-León, C. y Hleap-Zapata, J. I. (2014). Efecto de un recubrimiento comestible y de diferentes empaques durante el almacenamiento refrigerado de mango *Tommy Atkins* mínimamente procesado. *Información tecnológica*, 25(4), 123-130.
- Fernández-Valdés, D., Bautista-Baños, S., Ocampo-Ramírez, A., García-Pereira, A. y Falcón-Rodríguez, A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación postcosecha de frutas y hortalizas. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(3), 52-57.
- Krochta, J. y Mulder-Johnston, C. (1997). Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities, *Food Technology*, 51, 61-74.
- Özçelik, B., Kartal, M. y Orhan, I. (2011). Cytotoxicity, antiviral and antimicrobial activities of alkaloids, flavonoids, and phenolic acids. *Pharmaceutical Biology*, 49(4), 396-402.
- Quirós, A., Ayala, J., Olivas, G. y González, G. (2014). Edible coatings as encapsulating matrices for bioactive compounds: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1674-1685.

- Swanaa, J. Y. (2011). Analysis of net production and feedstock availability for biobutanol and bioethanol. *Bioresource Technology*, 2, 2112-2117.
- Vargas-Rodríguez, L. y Arroyo-Figueroa, G. (2015). *Propiedades físicas del mucilago de nopal*. Acta Universitaria, 11.
- Vázquez, J. (2014). Nopal. *Flores*. <https://www.flores.ninja/nopal>

## **Diseño y análisis de la resistencia mecánica y capacidad de absorción de agua de un prototipo de mortero-arena con agregados de endocarpio de nuez de macadamia**

Ángel Salvador Pérez Valdovinos

Santiago Arceo Díaz

Ricardo Moreno Peña

Luis Aarón García Solórzano

José Fidel Navarro Arellano

Elena Elsa Bricio Barrios

### **Introducción**

En la actualidad, el uso de materiales ecológicos en la industria de la construcción es cada vez más frecuente (Álvarez, 2004). A diferencia de los materiales tradicionales, los ecológicos están caracterizados por un menor tiempo de reintegración al ecosistema y su proceso de fabricación involucra un menor índice de contaminación (Arvizu, 2009). Así, se han llevado a cabo diversas investigaciones tanto para crear materiales eficientes usando residuos inorgánicos (Cabrera, 2018) como la inclusión de agregados orgánicos para igualar o mejorar características específicas de los materiales tradicionales (Izquierdo, 2018).

En el caso de la inclusión de agregados orgánicos, se suele evaluar la eficacia del aprovechamiento de desechos orgánicos de origen vegetal como materiales de construcción. En estas investigaciones se plantea que los residuos orgánicos presentan ventajas tanto constructivas como económicas, gracias a sus características intrínsecas (como dureza, porosidad, o resistencia bajo diferentes tipos de esfuerzos) y a su abundancia al ser producidos de forma natural sin la necesidad de grandes procesos de transformación. Lo anterior, propicia que los procesos constructivos sean más amigables con el medio ambiente (Poveda, 2011).

Entre los principales postores de esta corriente destacan la investigación del bambú como material de construcción (Juárez, 2004), el uso de fibras naturales como la fibra de lechuga (Caldera *et al.*, 2012), fibra de ixtle (Paveda, 2006), fibra de coco (Caldera *et al.*, 2012; Pérez y Ortiz, 2019), fibra de palma (Acosta *et al.*, 2015), fibra de estropajo, fibra de caña de azúcar, cáscara de huevo (Cabrera, 2018), endocarpio pétreo del cocotero (Pérez y Ortiz, 2010), endocarpio pétreo del pistache, endocarpio pétreo de la nuez pecana (Díaz y Lozano, 2009), endocarpio pétreo de nuez Chandler (Marlenin, 2012), endocarpio del cacahuate, entre otros.

Siguiendo con esta corriente y buscando contribuir con la creación de un nuevo material eficiente y ecológico para esta industria, se pensó en utilizar los desechos de la industria de la nuez de macadamia, la cual está presente dentro del estado de Colima y en estados vecinos. Dicho desecho consiste en la cáscara o endocarpio pétreo el cual, como los endocarpios de diferentes plantas ya mencionadas, posee características de resistencia y absorción adecuadas para añadirlo a una mezcla destinada a la rama constructiva. Se planteó mezclar residuos molidos de endocarpio pétreo de nuez de macadamia con mortero y arena, materiales empleados en la industria de la construcción para hacer mezclas cementantes con distintos fines: unir bloques, como recubrimiento de muros

(enjarre) o como recubrimiento de losas (entortado), e incluso para hacer elementos que comúnmente requieren de concreto, pero por su uso no requieren su resistencia (Duda, 1977). Se plantea que los elementos constructivos hechos a partir de estas mezclas, pueden mostrar características ventajosas respecto a aquellos obtenidos mediante mezclas tradicionales, que suelen ser pesados, retienen humedad y absorben y liberan calor con facilidad, induciendo temperaturas elevadas al interior de la construcción durante la mayor parte del día.

En el aspecto ambiental, la alta demanda de los materiales tradicionales puede tener repercusiones negativas. La arena es comúnmente obtenida de lechos de ríos y minas, lo que provoca un cambio de los cauces naturales, contaminación, deforestación y destrucción de hábitats, entre otros problemas. El mortero, típicamente una mezcla de cemento-cal, yeso-cal, o simplemente cal o cemento (Villanueva y García, 2001) mezclados con arena, es producido mediante la incineración de sus componentes naturales, usando grandes cantidades de combustible, provocando con ello contaminación (Duda, 1977). En contraste, los residuos de endocarpio pétreo de nuez de macadamia son resultado de la producción y comercio de la nuez, su utilización exitosa en la industria constructiva, reduciría la contaminación asociada con su destrucción mediante la quema.

Por ello, esta investigación se propone analizar si una mezcla con agregados de endocarpio pétreo de nuez de macadamia puede presentar características ventajosas respecto a las mezclas tradicionales, en cuanto a resistencia de los bloques ante fuerzas de compresión y su capacidad de absorción de agua, contribuyendo a la obtención de un material eficiente dentro de la industria de la construcción que contribuya a un menor impacto ecológico que los materiales involucrados en las mezclas tradicionales.

## **Materiales y métodos**

Se seleccionó el endocarpio pétreo de nuez de macadamia debido a su abundancia en la región de Colima, México. A partir de residuos de endocarpio pétreo (cáscaras) de nuez de macadamia se prepararon mezclas con mortero y arena. Se utilizaron las siguientes materias primas para la fabricación de las mezclas:

- Mortero en polvo: material convencional que puede encontrarse en comercios dedicados a la venta de material constructivo.
- Arena de río: su granulometría no supera los 5 milímetros y se retiró toda clase de contaminante vegetal o de alguna otra índole. Se utilizó arena obtenida de los comercios locales.
- Endocarpio pétreo de nuez: el material se obtuvo de productores locales dedicados al comercio nuez de macadamia. Se retiraron los residuos de pulpa de nuez y se secó. Los residuos se trituraron en un molino manual, resultando en granos cuyo diámetro no excede los 5 milímetros. Además, se hicieron dos series de pruebas: mezclas en las que se usaron los granos que se obtenían directamente del molino y mezclas que solo contenían granos en dos rangos diferentes: con un diámetro menor a 1.5 milímetros y con un diámetro entre 1.5 y 5 milímetros.
- Agua: depurada de contaminantes y a temperatura ambiente.

*Desarrollo experimental*

Se desarrollaron 10 proporciones con diferentes porcentajes de materiales, con cinco prototipos por cada proporción. De los cinco prototipos creados con cada proporción, se separó uno para evaluar la capacidad de retención de agua de cada mezcla, mientras que cuatro fueron utilizados para evaluar la resistencia mecánica. Los resultados de los prototipos experimentales, en los que se incluyeron los agregados de endocarpio, se compararon con los obtenidos en prototipos con dos mezclas de mortero y arena: proporción  $1/4$  (1 porción de mortero y 4 de arena) y  $1/6$  (1 porción de mortero y 6 de arena).

Para hacer las proporciones experimentales, se tomaron como base las proporciones originales y se les retiró un volumen de arena que fue sustituido por los fragmentos de endocarpio de nuez que se agregaría a dicha proporción. Los volúmenes de sustitución fueron 5 % y 20 % respecto al porcentaje de arena, para determinar cuáles son los efectos en las características de los prototipos al aumentar la proporción de endocarpio pétreo en su interior. Para las pruebas se usaron los granos obtenidos de la última fase de la molienda. Además, se utilizaron las moliendas cernidas en la proporción del 20 % para poder comparar cómo influye la diferente granulometría en las mezclas. En la Tabla 1 se muestran las proporciones empleadas.

**Tabla 1.** Dosificaciones para cada una de las mezclas utilizadas (en bultos). Fuente: elaboración propia.

TABLA DE DOSIFICACIONES (EN VOLÚMENES)										
MATERIA PRIMA	DOSIFICACIONES									
	1/4	1/4 + 5%	1/4 + 20%	1/4 + 20% <1.5mm	1/4 + 20% >1.5mm	1/6	1/6 + 5%	1/6 + 20%	1/6 + 20% <1.5mm	1/6 + 20% >1.5mm
mortero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Arena	4	3.8	3.2	3.2	3.2	6	5.7	4.8	4.8	4.8
Cascara de nuez		0.20	0.80				0.30	1.20		
Cascara de nuez <1.5mm				0.80					1.20	
Cascara de nuez >1.5mm					0.80					1.20

*Elaboración de los prototipos*

Con base en las proporciones reportadas en la Tabla 1, se utilizaron medidas volumétricas idénticas para medir cada uno de los materiales correspondientes. El mezclado de los granos de endocarpio pétreo de nuez con el mortero y la arena, se realizó en seco en un recipiente de plástico. Una vez alcanzada la homogeneidad se agregó el agua lentamente para evitar que los materiales formarán grumos.

A continuación, cada mezcla fue vertida en el interior de moldes cúbicos de poliestireno, con arista de 5 cm, hasta que se llenaron completamente para evitar la formación de burbujas de aire dentro de los prototipos. Se seleccionó el poliestireno debido a su relativa fragilidad, permitiendo que los moldes puedan romperse para liberar los prototipos sin dañarlos. Mientras que, para facilitar la liberación de los bloques al concluir el tiempo de fraguado, se empleó una placa de vidrio como base para los moldes. Finalmente, durante el fraguado y curado se vertieron manualmente pequeñas cantidades de agua a los prototipos cada dos días, por una semana (Duda, 1977).

## Desarrollo experimental

El presente trabajo se realizó en las instalaciones del laboratorio de materiales del Instituto Tecnológico de Colima, México. Los detalles de cada etapa se describen a continuación:

### *Compresión*

Se emplearon prototipos cúbicos de 5 cm de arista, dimensión asignada por la norma mexicana NMX-C-173-ONNCCE-2010. Mientras que, para medir la variable de salida, se utilizó una máquina de ensayo universal modelo UH-500Kni marca SHIMADZU.

### *Absorción*

Esta prueba consiste en secar los prototipos fraguados someténdolos a temperaturas cercanas a 100 °C durante 30 minutos para evaporar la mayor parte del agua en su interior. Posteriormente, los prototipos fueron pesados en el menor tiempo posible para evitar que reabsorban la humedad del ambiente durante el pesaje. Inmediatamente después, los prototipos fueron sumergidos en un recipiente con agua con una profundidad de 10 cm, por 24 horas, siguiendo el proceso sugerido en la literatura (Pérez y Ortiz, 2019). Posteriormente, los prototipos fueron secados con paño limpio y seco para retirar el exceso de agua y pesados nuevamente, obteniendo la diferencia de peso entre los prototipos secos y saturados de agua. La relación mencionada se muestra en la ecuación 1:

$$\% Abs = \frac{|MSSS-MS|}{MS} * 100\% \quad Abs = \frac{|MSSS-MS|}{MS} * 100,$$

Donde el porcentaje de agua absorbida por los prototipos (% Abs) se calcula en función de la diferencia entre el peso de los prototipos cuando su superficie está seca (MSSS) y su peso cuando están totalmente secos (MS).

## Resultados

### Reducción de peso

Por inspección visual, se observó que la mayor parte de la humedad superficial de los prototipos se eliminó después de 24 horas de exposición a la corriente de aire producida por un sistema de ventilación doméstica. Los pesos de los prototipos secos se muestran en la Tabla 2. En general, se observa que la incorporación de los granos de endocarpio pétreo en los prototipos, ocasionó una reducción de peso (como puede observarse en la última fila de la Tabla 2 y en la Figura 1).

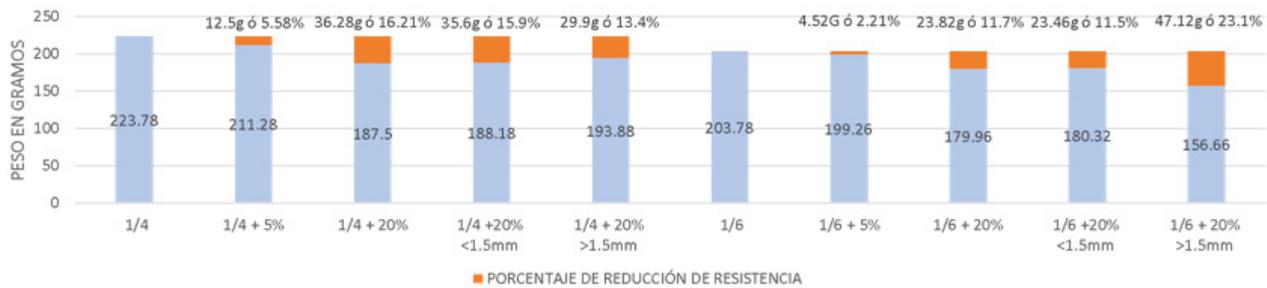
**Tabla 2.** Peso en gramos de los prototipos secos a temperatura ambiente. Fuente: elaboración propia.

TABLA DE PESOS SECOS A TEMPERATURA AMBIENTE (EN GRAMOS)										
PROBETA	DOSIFICACIONES									
	1/4	1/4 + 5%	1/4 + 20%	1/4 + 20% <1.5mm	1/4 + 20% >1.5mm	1/6	1/6 + 5%	1/6 + 20%	1/6 + 20% <1.5mm	1/6 + 20% >1.5mm
1	237.3	217.6	185.4	196.1	212.1	208.2	196.1	194.5	177.2	146.8
2	216.8	197.2	186.4	179.9	185.4	191.9	196	174.4	181.1	164
3	228.3	216.5	180.1	197	193.9	196.6	194.7	180.3	185.7	147.2
4	225.9	226.3	198.2	186	193.3	216.2	208.5	179.4	182.2	157.7
5	210.6	198.8	187.4	181.9	184.7	206	201	171.2	175.4	167.6
MEDIA	223.78	211.28	187.5	188.18	193.88	203.78	199.26	179.96	180.32	156.66
PESO PERDIDO	0	12.5	36.28	35.6	29.9	0	4.52	23.82	23.46	47.12
						MEDIANA				

En la familia de la proporción  $1/4$ , se puede observar cómo al sustituir un 5 % de la arena por el agregado de la nuez se redujo el peso en 12.5 gramos, lo que equivale a una reducción del 5.58 % del peso en comparación con la mezcla testigo. En caso de las mezclas en las que se sustituyó un 20 % de arena, el peso se redujo 36.28 gramos, lo que equivale a 16.21 % del peso en comparación con la mezcla testigo. En el caso de los prototipos en los que se agregaron granos con una granulometría específica, se observó que en ambos casos los prototipos resultantes eran más pesados que los que tienen una mezcla de granulometría, siendo aquellos con agregados de grano mayores a 1.5 milímetros los que presentaron la menor reducción de peso (29.9 gramos, equivalente a 13.4 % del peso respecto al peso de los prototipos testigo).

En la familia de las proporciones de  $1/6$  se puede observar cómo al sustituir un 5 % de la arena por el agregado de la nuez, su peso se redujo 4.52 gramos lo que equivale a una reducción del 2.21 % del peso en comparación con la mezcla testigo. A la proporción que se le sustituyó un 20 % de arena por cáscara de nuez, tuvo una reducción de 23.82 gramos, lo que equivale a 11.7 % del peso en comparación con la mezcla testigo. Respecto a la granulometría que corresponden

al 20 % de agregado de cáscara de nuez, se obtuvieron pesos muy semejantes, siendo aquellos con una granulometría comprendida entre 1.5 y 5 milímetros los que mostraron una mayor reducción de peso (23.82 gramos, equivalente a 11.7 % del peso en comparación con la mezcla testigo). Sin embargo, como pudo comprobarse en la prueba de resistencia, estos prototipos mostraron mucha fragilidad, indicando debilidad estructural posiblemente causada por los espacios entre los granos (véase la Tabla 3).



**Figura 1.** Promedio del porcentaje de reducción de peso en los prototipos para cada una de las mezclas (en gramos). Fuente: elaboración propia.

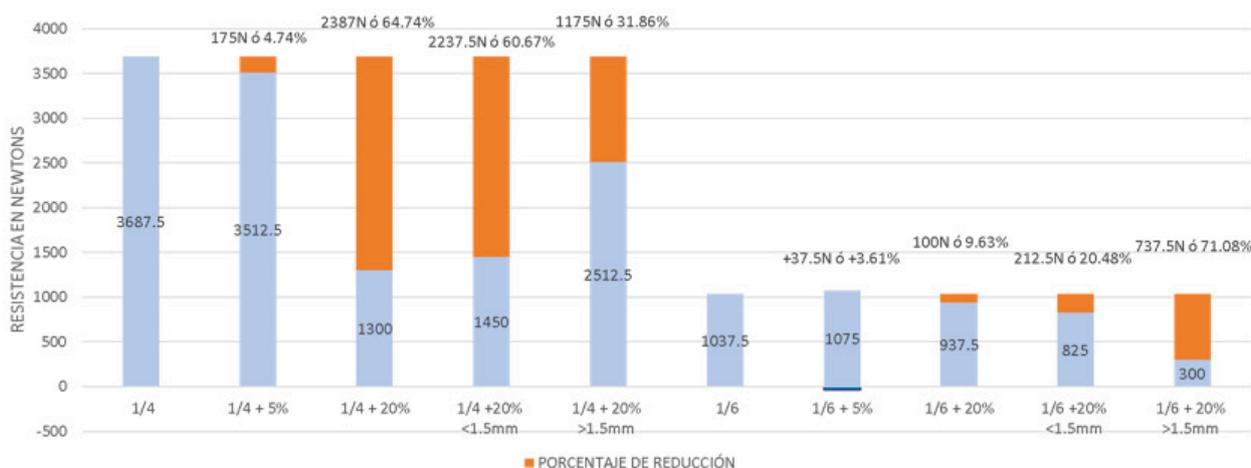
### Prueba de compresión

La Tabla 3 muestra los resultados de la prueba de compresión para los prototipos testigo y los experimentales. En general, se observa que la familia de prototipos experimentales con proporción de  $1/4$  y 5 % de agregado de endocarpio pétreo de nuez, tuvo una resistencia comparable con la de la familia de testigos que sigue la proporción mortero-arena de  $1/4$ , mientras que el resto de tratamientos experimentales mostraron resistencias inferiores. En el caso de los prototipos en los que se usaron granulometrías específicas, la familia a la que fueron agregados granos cuyo diámetro está comprendido entre 1.5 y 5 milímetros, mostró una resistencia promedio de 2512 Newton\*cm<sup>-2</sup>, equivalente al 67 % de la resistencia de los prototipos testigo, pero el doble de la de los bloques con granulometría mixta.

En el caso de la familia de proporciones  $1/6$  se pudo apreciar un resultado medianamente distinto. Al sustituir 5 % de agregado dentro de la composición se obtuvo un aumento de la resistencia de los prototipos de 3.61 %, pero esto cambió con las proporciones que tenían un 20 % de cáscara de nuez, ya que estas demostraron una reducción de su resistencia siendo la más débil la proporción  $1/6 + 20% >1.5\text{ mm}$  con una reducción de resistencia de 71.08 % y la mayor de esta proporción fue la proporción  $1/6 + 20%$  la cual tiene un 20 % de agregado de cáscara de nuez de macadamia en estado mixto la cual solo perdió 9.63 % de su resistencia.

**Tabla 3.** Resistencia a la compresión de los prototipos en newtons. Fuente: elaboración propia.

TABLA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (EN NEWTONS)										
PROBETA	DOSIFICACIONES									
	1/4	1/4 + 5%	1/4 + 20%	1/4 + 20% <1.5mm	1/4 + 20% >1.5mm	1/6	1/6 + 5%	1/6 + 20%	1/6 + 20% <1.5mm	1/6 + 20% >1.5mm
1	3350	3400	1250	1650	2600	1150	850	1050	700	300
2	3250	3200	1300	1400	1950	850	1300	700	850	400
3	3400	3500	1300	1500	2500	1200	1200	1050	700	300
4	4750	3950	1350	1250	3000	950	950	950	1050	200
media	3687.5	3512.5	1300	1450	2512.5	1037.5	1075	937.5	825	300



**Figura 2.** Promedio del porcentaje de reducción de resistencia mecánica (en newtons) de los prototipos para cada una de las mezclas. Fuente: elaboración propia.

La Figura 2 muestra la reducción relativa de resistencia de los prototipos experimentales, respecto a los resultados de los prototipos testigo. Se observa que el porcentaje de agregado afecta la resistencia de los prototipos y, asimismo, el efecto depende también de la proporción relativa entre mortero y arena que se utilice en las mezclas. En el caso del efecto de la proporción de granos de endocarpio pétreo, los prototipos en los que se agregó un 5 % del volumen de arena, muestran una resistencia similar a la de los prototipos testigo, mientras que los que tienen agregado un 20 % de volumen en granos de endocarpio tienen una resistencia inferior. Igualmente, conforme se reduce

la proporción relativa de mortero/arena de  $1/4$  a  $1/6$ , se reduce también la resistencia a casi un tercio (tanto en el caso de los prototipos testigo como de los experimentales). La granulometría puede influir además en la resistencia de los prototipos.

En el caso de la familia con proporción mortero/arena de  $1/4$ , las mezclas que contenían agregado de cáscara de nuez en estado mixto y menor que 1.5 milímetros en cantidades del 20 %, sufrieron una pérdida considerable de resistencia de hasta 64.74 %, pero si vemos la mezcla que contenía 20 % de agregado de cáscara de granulometría mayor a 1.5 milímetros, este solo sufrió una pérdida de resistencia del 31.86 %, la mitad que los que contenían granos finos. En el caso de los prototipos en los que la proporción mortero/arena es  $1/6$ , los prototipos que contenían un 20 % y granulometría menor que 1.5 milímetros, tuvieron una reducción de resistencia del 20.48 % (mucho menor que la caída de resistencia de la familia de la proporción  $1/4$ ).

**Tabla 4.** Tabla de absorción de agua (peso en gramos). Fuente: elaboración propia.

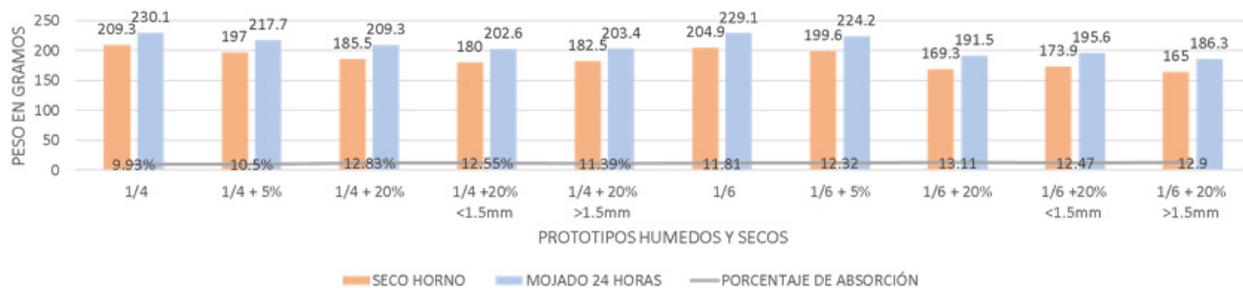
TABLA DE ABSORCION DE AGUA (PESOS EN GRAMOS)										
ESTADO DE PROBETA (FILA 5)	DOSIFICACIONES									
	1/4	1/4 + 5%	1/4 + 20%	1/4 + 20% <1.5mm	1/4 + 20% >1.5mm	1/6	1/6 + 5%	1/6 + 20%	1/6 + 20% <1.5mm	1/6 + 20% >1.5mm
SECO AMBIENTE	210.6	198.8	187.4	181.9	184.7	206	201	171.2	175.4	167.6
SECO HORNO	209.3	197	185.5	180	182.6	204.9	199.6	169.3	173.9	165
MOJADO 24 HORAS	230.1	217.7	209.3	202.6	203.4	229.1	224.2	191.5	195.6	186.3
% DE ABS.	9.93	10.50	12.83	12.55	11.39	11.81	12.32	13.11	12.47	12.90

### Absorción de agua

En el caso de la prueba de absorción de agua, se pueden observar los resultados obtenidos de cada una de las probetas en la Tabla 4. Los prototipos testigo con proporción mortero/arena de  $1/4$ , mostraron una diferencia de peso de 9.93 % una vez secos, respecto al momento en que se saturaron de agua. Este porcentaje de incremento en peso aumenta conforme a la cantidad de granos de endocarpio que se agreguen: 10.50 % de aumento en peso para los prototipos con 5 % agregado y 12.83 % para los prototipos con 20 %. Continuando con la granulometría de la misma proporción base, se identificó que la proporción sin separar de un 20 % de agregado de cáscara de nuez obtuvo un 12.83 % de absorción, siendo más alta que los mismos porcentajes de agregado de diferente granulometría. El prototipo con mezcla  $1/4 + 20\% <1.5\text{mm}$  obtuvo una absorción de 12.55 %, y la mezcla  $1/4 + 20\% >1.5\text{mm}$  obtuvo una absorción de 11.39 %, siendo la más baja en las mezclas por granulometría en esta proporción base.

Dentro de las mezclas que se basaron en la proporción  $1/6$  se observaron cómo la proporción testigo ( $1/6$ ) obtuvo 11.81 % de absorción, la cual es más alta que la proporción  $1/4$  y se acerca a las proporciones de  $1/4$  con 20 % de agregado de cáscara de nuez. Una vez agregando el material

experimental, puede notarse como la absorción va aumentando gradualmente conforme se aumenta el porcentaje de agregado de cáscara de nuez, llegando a 12.32 % de absorción con el 5 % de agregado de cáscara de nuez y consiguiendo un 13.11 % de absorción con el 20 % de agregado de cáscara de nuez. En el caso de los bloques con granulometrías específicas, la proporción sin separar de un 20 % de agregado de cáscara de nuez obtuvo un 13.11 % de absorción, siendo más alta que los mismos porcentajes de agregado de diferente granulometría. El prototipo con mezcla  $1/6 + 20\% < 1.5\text{mm}$  obtuvo una absorción de 12.47 % (muy similar a su contraparte en la proporción  $1/4$ ) y la mezcla  $1/6 + 20\% > 1.5\text{mm}$  obtuvo una absorción de 12.90 %.



**Figura 3.** Diferencia de peso (en gramos) entre los prototipos una vez que se saturaron de agua y después de secarse en el horno. Fuente: elaboración propia.

Como resultados de estas pruebas, de forma general se puede determinar que el aumento de la proporción de agregado de cáscara de nuez de macadamia aumenta el porcentaje de absorción, pero lo hace en una cantidad baja con un aumento máximo de 3 % en la mezcla de  $1/4$  con 20 % de agregado en comparación con la mezcla testigo en la proporción  $1/4$ . También, la absorción de las mezclas con base en la proporción  $1/6$  fueron las que obtuvieron los resultados más parecidos entre sí, con una diferencia máxima de 1.1 % de absorción entre la mezcla testigo y la que contenía un 20 % de agregado, esto pudo ser causado por el aumento de la proporción de arena y el agregado experimental en comparación con el mortero. Por último, las proporciones con agregados del 20 % mixto de ambas familias, fueron las que obtuvieron la mayor absorción en comparación con las otras de diferente granulometría de su misma proporción base.

### *Retención de agua*

Los pesos de los prototipos durante las horas posteriores a la saturación con agua se muestran en la Tabla 5.

TABLA DE TIEMPO DE RETENCIÓN DE AGUA (PESOS EN GRAMOS)										
TIEMPO	DOSIFICACIONES									
	1/4	1/4 + 5%	1/4 + 20%	1/4 + 20% <1.5mm	1/4 + 20% >1.5mm	1/6	1/6 + 5%	1/6 + 20%	1/6 + 20% <1.5mm	1/6 + 20% >1.5mm
MOJADO 24 HORAS	230.1	217.7	209.3	202.6	203.4	229.1	224.2	191.5	195.6	186.3
1 HORA	227.9	216	207.3	200.8	201.9	227.3	221.2	188.2	193.4	183.2
2 HORAS	226.6	215.1	206.1	199.7	200.9	226.4	220.3	187.5	192.5	182.3
6 HORAS	222.3	212.2	203.7	197.4	198.4	223.9	218	185.1	190.3	179.7
10 HORAS	217.7	208.8	200.1	193.6	195	220	214.3	181.5	186.7	175.8
12 HORAS	215.9	207.3	198.6	192	193.4	218.2	212.8	180	185.4	174.2
16 HORAS	212.8	203.5	194.7	188.1	189.9	213.9	208.7	175.8	181.5	170
20 HORAS	211.2	200.6	191.6	185.2	187.1	210.3	205.6	173.1	178.5	167.6
22 HORAS	210.6	199.5	189.6	183.6	185.8	208.4	203.7	171.6	177.1	
24 HORAS		198.8	188.5	182.6	184.7	207.2	202.6	170.8	175.9	
34 HORAS			185.9	180		205.1	200.1	168.7	173.4	
SECO AMBIENTE	210.6	198.8	187.4	181.9	184.7	206	201	171.2	175.4	167.6

**Tabla 5.** Pérdida de agua retenida dentro de los prototipos con el paso del tiempo, en gramos.  
Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que la tasa de reducción de humedad se reducía conforme pasaba el tiempo y la humedad dentro del prototipo, esto puede verse desde la primera hora donde los prototipos perdieron cerca de 2 gramos de humedad en promedio, algunas 1.5 gramos y los máximos alcanzaron los 3 gramos. Esto en comparación con la segunda hora en la cual en promedio se perdió menos de 1 gramo de humedad siendo el mínimo 1.3 gramos y el máximo 7 gramos.

A partir del contenido de la Tabla 4 es posible realizar las siguientes observaciones: i) La reducción de arena y agregado de nuez reducen el tiempo de eliminación de humedad como se ve en la proporción  $1/4$  la cual terminó de eliminar su humedad a las 22 horas. ii) La granulometría afecta directamente en la forma que las prototipos reducirán su humedad, una granulometría mayor lograra una eliminación más rápida de la humedad como se vio con la mezcla  $1/6 + 20\% >1.5\text{mm}$ , la cual fue la primera en alcanzar su estado seco a las 20 horas y fue seguida por la mezcla  $1/4 + 20\% >1.5\text{mm}$  que alcanzó su peso seco a las 24 horas, siendo la tercera en alcanzarlo en empate con la mezcla  $1/4 + 5\%$ . iii) La granulometría será un factor directo en cuanto a la capacidad de perder humedad, esto se ve en la mezcla  $1/4 + 5\%$  la cual posee 5% de agregado de cáscara de nuez en granulometría mixta. Esta mezcla fue la tercera en llegar a su peso seco en la hora 24 en empate con la mezcla  $1/6 + 20\% >1.5\text{mm}$  que contiene 20% de agregado de cáscara de nuez con una granulometría superior a 1.5 milímetros. Esto significa que pese a tener cuatro veces más gra-

nulometría, consiguió su peso seco al mismo tiempo. iv) Al incrementar la proporción  $1/6$  y en las proporciones que contenían agregado mixto y agregado menor a 1.5mm en cualquier proporción fueron más lentas para deshacerse de su humedad y llegar a su peso seco.

## Conclusiones

Este trabajo ha sido enriquecedor al aportarnos información valiosa del comportamiento de estos materiales de prueba y con ello poder realizar en un futuro, una mezcla eficiente que sea utilizada en la construcción y que pueda aportar a las edificaciones que hagan uso de ella, resultados óptimos como un material seguro, resistente, confiable y capaz de ayudarnos a reducir el impacto ambiental de nuestro día a día. Como puntos a analizar podemos concluir:

- La proporción de agregado influye directamente en el peso de los prototipos, haciéndolas más ligeras entre mayor sea el porcentaje.
- Cuan mayor sea la proporción de aglutinante (mortero), mejor trabajarán los agregados con mayor granulometría.
- Entre menor sea el porcentaje de aglutinante (mortero), los agregados de mayor granulometría serán más perjudiciales para la mezcla.
- Entre menor sea el porcentaje de aglutinante (mortero), los agregados de baja granulometría funcionarán como aglutinante y trabajarán mejor en la mezcla.
- Entre mayor sea el porcentaje de aglutinante (mortero), el agregado de baja granulometría será perjudicial para la mezcla haciéndola más débil.
- El aumento de la absorción de agua es bajo, el máximo aumento registrado entre la proporción testigo y el porcentaje de absorción de un prototipo experimental fue de solo 3 %.
- La granulometría mixta influye en su capacidad de absorción de agua.
- La arena y el agregado de nuez ralentizan la pérdida de humedad.
- La granulometría afecta directamente en la forma en que los prototipos reducirán su humedad: una granulometría mayor logrará una eliminación más rápida de la humedad y una granulometría menor ralentiza el tiempo en que el prototipo pierda humedad.

Estos puntos no son tomados como resultados definitivos, ya que como se mencionó, las pruebas se realizaron en probetas de siete días de fraguado. Para solventar esta carencia de tiempo, se pretende repetir el experimento utilizando probetas con 30 días de fraguado para posteriormente hacer una comparación y poder determinar si el aumento de tiempo hizo un cambio en el comportamiento de las probetas, además de su resistencia.

## Bibliografía

- Álvarez Cárdenas, M. (2004). *Materiales sustitutos en la producción de tabicón con cementantes en Colima*. Universidad de Colima, Facultad de arquitectura y diseño, México.
- Angarita, M., Díaz, D. y Lozano, U. (2009). Fibra de palma africana (*elaeis guineensis*) para mejorar las propiedades mecánicas del cartón reciclado. *Revista ION*, 22(1), 63-71.
- Arvizu Piña, V. (2009). *Emisión de CO<sub>2</sub> por diferentes sistemas constructivos de muros. . Caso: viviendas en Colima, México*. Universidad de Colima, Facultad de arquitectura y diseño, México.
- Cabrera Hernández, H. (2018). *Caracterización del comportamiento del residuo de granalla al ser incluido en elementos de concretos*. Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia.
- Caldera, C. A., Miramontes, D., Hernández, A. y Trujillo, M. (2012). *Caracterización de materiales compuestos de matriz polimérica con fibra de ixtle*. Memorias del XVIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM, México.
- De la Cruz Acosta, F. J., Sáenz López, A. y Cortés Martínez, F. (2015) Concreto Ligero utilizando Cáscara de Nuez. *Revista Arquitectura e Ingeniería*, 9(1), 4-14.
- Duda, W. (1977). *Manual tecnológico del cemento*. Editorial Reverte, México.
- Izquierdo, I., Soto Izquierdo, O. y Ramalho, M. (2018). Propiedades físicas y mecánicas del hormigón usando polvo residual de desechos orgánicos como reemplazo parcial del cemento, *Revista Ingenieril Constructiva*, 33(3), 1-7.
- Juárez Alvarado, C. y Rodríguez López, P. (2004). *Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto*. Doctorado en Ingeniería de Materiales, FIME-UANL, Nuevo León, México.
- Marlenin, M. R. (2011). *Utilización de la Nuez Chandler en Yeso*. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- NMX-C-061-ONNCCE-2010. (2010). Industria de la construcción-cementos Hidráulicos. Determinación de la resistencia a la compresión de cementares hidráulicos.
- Novoa, M. A. (2005). *Elaboración y evaluación de tableros aglomerados a base de fibra de coco y cementos*. Universidad de Colima, Facultad de arquitectura y diseño, México.
- Pérez y Ortiz. (2019). *Diseño y elaboración de un prototipo de cemento-arena con agregados base de residuos del fruto de coco para analizar sus propiedades físicas*. Instituto Tecnológico de Colima, México.
- Poveda Montoya, W. A. (2011). *Comparación del bambú con el acero como material de refuerzo a flexión en concreto*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Construcción, Costa Rica.
- Villanueva, L., Domínguez, A. y García, S. (2011). *Manual del yeso*. Editorial ATEDY, Madrid.

## **Paneles y tableros de bambú con plástico reciclado una solución innovadora para mitigar el cambio climático**

Héctor Miguel Escamilla Anaya  
José Ricardo Moreno Peña  
Ramón Aviña Iglesias  
Santiago Arceo Díaz

### **El bambú, una alternativa maderable**

El hombre ha necesitado de materiales para la construcción a lo largo de la historia y la madera es una materia prima fácil de conseguir, que sigue siendo utilizada en la actualidad. Hoy en día es un material indispensable en cualquier construcción, ya que se usa para crear una amplia variedad de objetos de diversos tamaños y funciones, debido a propiedades como manejabilidad, resistencia, rigidez y estética (Chang, 2006).

No obstante, en los últimos años el número de bosques en el mundo se ha reducido drásticamente, ya sea por causas ambientales naturales o debido a que la tala de árboles es más rápida que el tiempo requerido para la madurez de la planta (20-30 años), impactando gravemente al medio ambiente y al calentamiento global, modificando los climas en la tierra. Por esta razón, muchos países han establecido normas estrictas para controlar los recursos forestales, buscando una tendencia de lograr el menor uso de madera y contribuir así a aminorar el impacto ambiental (Yike, 1993).

Otro problema que se está generando por la reducción de bosques maderables es el aumento en los precios. Se está volviendo costoso fabricar productos de madera, ya que menos del 50 % de la explotada es utilizada eficientemente y el resto se descarta como chatarra (Lawson *et al.*, 2007). Por lo tanto, se han estado buscando alternativas con otros recursos forestales no maderables de bajo costo con características de rápido crecimiento. En los últimos años, dando respuesta a esta necesidad, una de las alternativas forestales más viables ha sido el bambú, el cual se ha encontrado que tiene cualidades similares a la madera convencional con la ventaja de un rápido crecimiento (Chu, 1989). Sus propiedades físicas son únicas, es más fuerte que la madera, más flexible y elástico. Si se dobla ligeramente, no se rompe tan fácilmente, además si se deforma por un corto periodo tiende a volver a su configuración original (Gow, 1997).

El bambú se cultiva principalmente en zonas de clima tropical alrededor del mundo, como América central, Sudamérica, África y muchas partes de Asia (Imagen 1), en este último es comúnmente utilizado como material de construcción, ya sea por su resistencia, durabilidad y buena estabilidad dimensional, así como su fácil suministro y rápida reposición (Lawson *et al.*, 2007).



**Imagen 1.** Zonas de cultivo del bambú en el mundo.

Sobresale como característica más interesante en el bambú su rápido desarrollo y maduración, en comparación con las maderas duras que llegan a tardar entre 15 y 30 años (incluidas las de crecimiento rápido), los árboles de bambú, sin embargo, alcanzan la madurez completa en un periodo de 2 a 6 años. El adecuado manejo de los bambúes, representaría una solución a la escasez de madera que se está teniendo por la deforestación excesiva que se provoca por la gran demanda de madera. Otras ventajas encontradas son la gran variedad de especies endémicas existentes y la facilidad para su adaptabilidad en diversos ecosistemas del planeta. Se logran producir grandes volúmenes de culmos en áreas pequeñas, se puede plantar en diferentes zonas topográficas y tiene fácil manejo y transporte, además que su costo de producción responde económicamente, pues el uso de fertilizantes y riego es muy bajo.

Los árboles de bambú generalmente no son los más adecuados para la producción de tableros o paneles, debido a que los culmos de bambú son huecos y no pueden convertirse en tablas, además que sus diámetros son relativamente pequeños. En la actualidad, los tableros o paneles de este recurso se hacen generalmente cortando a mano tiras y luego tejiéndolas en esteras, estas se van apilando junto con otras para que después de presionarlas a altas temperaturas, lograr juntarlas (Ou, 2007).

El problema con este método es el tiempo de desarrollo necesario, debido a la obtención, corte, secado y conservación, que se requieren proveer al culmo y que son procesos todavía rústicos, sin considerar los defectos que puede tener el producto final debido a su producción manual. Asumiendo lo anterior, existe una necesidad en la industrialización en la fabricación de paneles y tableros, para reducir tanto tiempo como defectos en el producto final.

Conociendo las características del bambú, se realizó la búsqueda de estudios, proyectos y prototipos sobre tableros o paneles, utilizando únicamente este material o en combinación con otros materiales, esto con la intención de conocer la situación actual y que sirva de preámbulo para futuras investigaciones o nuevas propuestas de materiales.

## Estado del arte

Con la intención de conocer el estado actual de las técnicas empleadas en la fabricación de paneles y tableros de bambú, se compararon los sistemas, aglutinantes y adhesivos que protejan del intemperismo causado por la humedad, los rayos solares (UV), el viento, agentes químicos y biológicos, como base para la innovación de estos productos.

Los motores de búsqueda utilizados o bases de datos se enfocaron en el análisis de estudios, artículos, prototipos y patentes de paneles y tableros que utilizaron como material el bambú o su combinación con otros materiales. Los buscadores utilizados fueron Scielo, Dialnet, Jurn, redalyc.com, Google Académico y Google Patents. Gracias a ellos, se logró consultar información de diferentes años y países, tratando de encontrar la mayor cantidad de datos existentes.

Para el presente estudio y para la selección de información que aportará a la investigación, se tomaron a consideración dos premisas:

- Estudios realizados donde el material principal utilizado para la construcción de paneles o tableros fue la planta de bambú, no importando que especie se utilizó.
- Proyectos que en la construcción de sus prototipos su material base fue el bambú y lograron combinarlo con otro tipo de material.

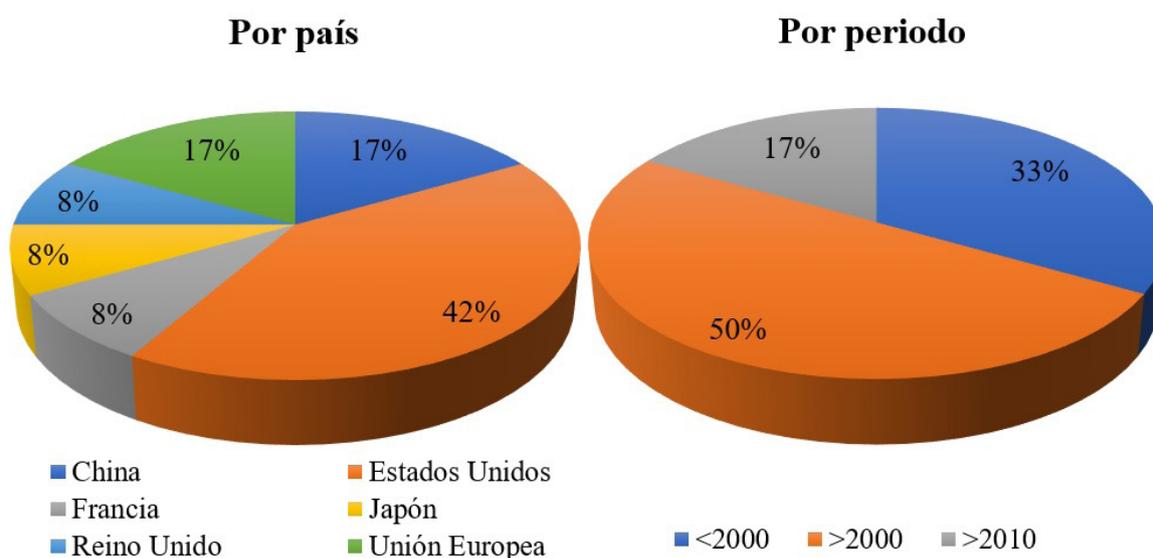
Se encontraron 45 estudios de países como Estados Unidos, China, Japón, Alemania, Francia y Reino Unido, además de algunas patentes que no mencionan país, pero están registradas ante la Unión Europea. Los años que se abordan van de 1980 a 2015, siendo de estos años el estudio más longevo y reciente, respectivamente. Para organizar de una mejor manera la información, se optó por ver en todos los estudios el método de unión de los componentes. También para estructurar por años, se hizo una distribución por periodos los cuales fueron: menor que 2000, mayor que 2000 y mayor que 2010.

La primera clasificación hecha fue con prototipos unidos mediante adhesivos (Tabla 1). La característica principal de estas uniones es que el adhesivo empleado fue hecho de manera natural, ya sea por la combinación de dos sustancias de la naturaleza, aglutinantes o resinas.

**Tabla 1**  
Tableros y paneles que usaron adhesivos naturales como unión.

<b>Título del artículo</b>	<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>País</b>	<b>Unión</b>
Tablero de chapa de fibra de bambú y método para fabricación del mismo (Bamboo fiber veneer board and method for mfg. Same).	Shimizu Hideki	1995	China	Adhesivos
Tablero de fibra de bambú modificado con polvo de caucho de neumáticos anti envejecimiento y método de preparación del mismo (Anti-aging waste tire rubber powder modified bamboo fiber board and preparation method thereof).	Zhang Youji	2015	China	Adhesivos
Tablero de bambú (Bamboo board).	Alan C. Chu	1986	Estados Unidos	Adhesivos
Paneles ciegos venecianos de bambú y método para fabricar los mismos (Bamboo venetian blind panels and method for manufacturing the same).	Chin-Yu Chen	2001	Estados Unidos	Adhesivos
Panel que contiene bambú (Panel containing bamboo)	Nian-hua Ou	2005	Estados Unidos	Adhesivos
Panel que contiene copos de bambú altamente cortados (Panel containing highly-cutinized bamboo flakes).	Nian-hua Ou	2005	Estados Unidos	Adhesivos
Panel de madera que contiene copos de culmo interno (Wood panel containing inner culm flakes).	Ou Nian-Hua, Mao Hsiang-Kuen	2005	Estados Unidos	Adhesivos
Tablero laminado y método de fabricación de tablero laminado (Laminated board and method of making laminated board).	Harsudi Soe-pandi	2004	Francia	Adhesivos
Tablero de bambú con estructura amortiguadora (Bamboo board with buffer structure).	Wang Wen	2008	Japón	Adhesivos
Tablero laminado incluyendo bambú (Laminated board including bamboo).	Wa Chu	1989	Reino Unido	Adhesivos
Tablero de bambú y método de producción del mismo (Bamboo board and method of producing the same).	Yi-Ho Ko	1999	Unión Europea	Adhesivos
Tablero artificial de bambú y método de producción del mismo (Bamboo artificial board and producing method thereof).	Yanglun Yu, Wenji Yu, Yue Zhou, Rongxian Zhu, Dinghua Ren, Zhiying Su	2010	Unión Europea	Adhesivos

Después de analizar la Tabla 1, se optó por realizar dos gráficas: una donde se comparan los porcentajes de los países que utilizaron el tipo de unión presentada y otra viendo el año y clasificándose en los periodos propuestos anteriormente. En el Gráfico 1 del lado izquierdo, en los países donde se realizaron la unión con adhesivos, sobresale en primer lugar los Estados Unidos con el 43 %, seguido de un empate entre China y la Unión Europea con 17 % y, por último, un empate entre Francia, Japón y Reino Unido con 8 %. En el lado derecho en los periodos, en primer lugar se encuentra con el 50 % mayor al año 2000, seguido con el 33 % menos a 2000 y finalizando mayor a 2010 con 17 %.



**Gráfico 1.** Izquierdo, clasificación por país. Derecho, por periodo.

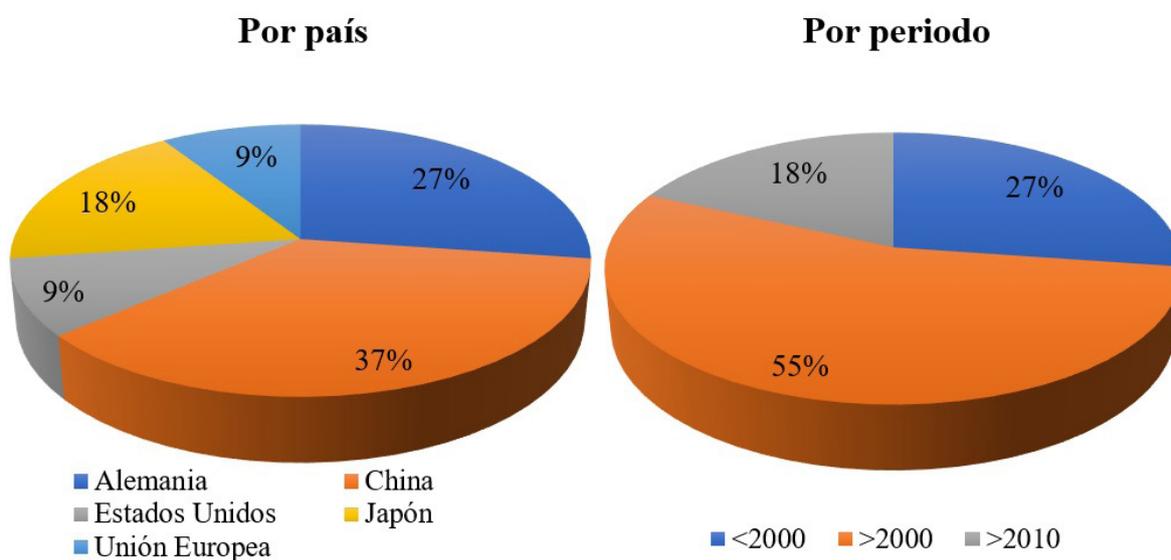
La segunda clasificación realizada fue designada por el nombre de pegamentos, donde las uniones se hicieron polímeros (Tabla 2). La diferencia de esta clasificación con la anterior, fue que los polímeros son hechos industrialmente, como polímeros adhesivos o pegamentos de alta resistencia.

**Tabla 2**

Tableros y paneles que usaron pegamento industrial como unión.

<b>Título del artículo</b>	<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>País</b>	<b>Unión</b>
Panel de construcción en capas pegado: tiene filas de tiras de bambú pegadas entre sí en capas desplazadas o superpuestas (Glued layered building panel - has rows of bamboo strips glued together in offset or overlapping layers).	Hubert Ernst Winkler	1980	Alemania	Pegamento
Tablero de bambú (Bamboo board).	Markus Bard	2006	Alemania	Pegamento
Panel sin madera hecho de bambú y cabina de calor (Wood-free panel made of bamboo and heat cabin).	Jokey Plastik Sohland	2008	Alemania	Pegamento
Método de fabricación de tableros de bambú y sus productos (Bamboo board manufacturing method and its products).	Ke Yihe	1993	China	Pegamento
Tablero de bambú compuesto (Composite bamboo board).	M. Budd	2006	China	Pegamento
Tablero compuesto de filamento de bambú y método para procesarlo (Bamboo filament composite board and method for processing same).	Zhou Songzhen	2012	China	Pegamento
Tablero de bambú pesado no estructural para exteriores y método de fabricación del mismo (Outdoor non-structural heavy bamboo board and manufacturing method thereof).	Wang Hui	2015	China	Pegamento
Tablero complejo de bambú laminado (Complex laminated bamboo board).	Dea-Ji Lou	2001	Estados Unidos	Pegamento
Panel de material compuesto, compuesto por material de tablero de bambú y material de tablero heterogéneo (Composite material panel made up of bamboo board material and heterogeneous board material).	Kazuto Takeda	1999	Japón	Pegamento
Tablero con material de bambú como núcleo (Panel board using bamboo material as core).	Kashi Ishida	2000	Japón	Pegamento
Tablero de bambú laminado (Panneau de bambou stratifié).	Dea-Ji Lou	2001	Unión Europea	Pegamento

Siguiendo ahora con el análisis de la tabla anterior, en el Gráfico 2 del lado izquierdo, en lo que respecta a los países, se observa que con un 37 % China domina, seguido con un 27 % por parte de Alemania, enseguida está Japón con un 18 % y finalizando con 9 % Estados Unidos y la Unión Europea cada uno. En el lado derecho, en lo que respecta a los periodos, con el 55 % se encuentra mayor que el año 2000, después el 27 % menor que el 2000 y por último con el 18 % mayor que 2010.



**Gráfico 2.** Izquierdo, clasificación por país. Derecho, por periodo.

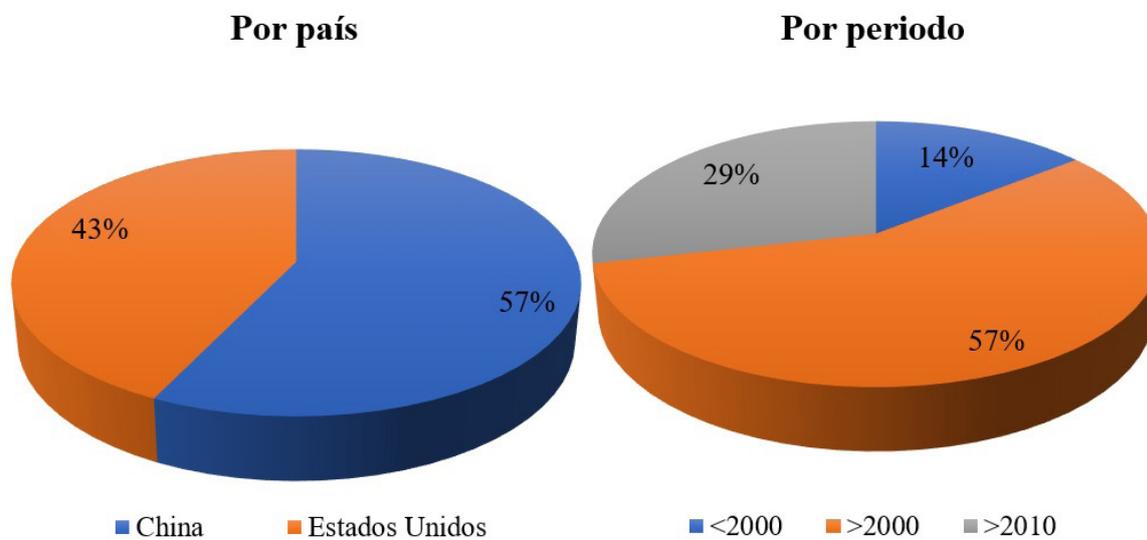
En la siguiente clasificación la unión utilizada fue la termo compresión (Tabla 3). Pese a que en otros casos usaron la termo compresión, previamente utilizaron adhesivos naturales, por lo cual se descartaron para esta tabla.

**Tabla 3**

Tableros y paneles que usaron termo compresión para unir.

<b>Título del artículo</b>	<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>País</b>	<b>Unión</b>
Tablero de fibra de bambú recubierto con película para la construcción de encofrados y mfg. método del mismo (Film-covered bamboo fiber board for building shuttering and mfg. method thereof).	Zhang Qisheng, Zhang Xiaodong, Wang Junhua, Wu Guoshi	1992	China	Termo compresión
Método para producir material de placa de bambú de la tira de bambú lateral en capas longitudinales prensado vertical (Method for producing bamboo plate material of bamboo strip longitudinal layered side vertical pressed)	Bin Zhao	2006	China	Termo compresión
Tablero compuesto de bambú que contiene una cortina de tira de bambú corta y delgada para el piso del contenedor (Bamboo composite board containing short thin bamboo strip curtain for container floor).	Yan Helai, Hu Xinhua, Hu Hongtao, Hu Changgen	2007	China	Termo compresión
Tablero de bambú pegado (Glued bamboo board).	Chen Mujin	2010	China	Termo compresión
Método de tablero de fibra de bambú (Bamboo fiber board method)	Seiji Yoshida	2001	Estados Unidos	Termo compresión
Panel que contiene bambú y fungicida (Panel containing bamboo and fungicide).	Eric Lawson	2005	Estados Unidos	Termo compresión
Tablero de fibra orientada al bambú y método para fabricar el mismo (Bamboo Oriented Strand Board and Method for Manufacturing the Same)	Shiyuan Zhang, Fangwen Zhang	2010	Estados Unidos	Termo compresión

De igual manera que en las anteriores tablas, en la comparativa de países encontrados en el Gráfico 3 del lado izquierdo, se aprecia que China representa el 57 % y, completando el resto, Estados Unidos con el 43 %. Ahora en el lado derecho, en los periodos, nuevamente domina mayor a 2000 con el 57 %, le sigue mayor que 2010 y termina con menor que 2000 con el 14 %.



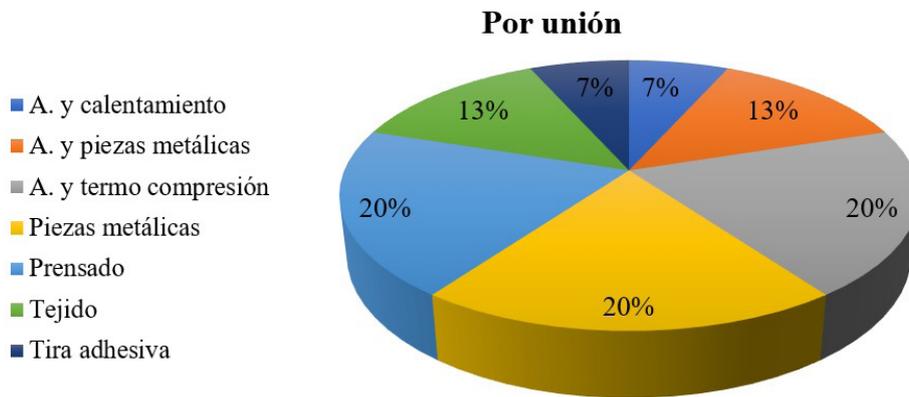
**Gráfico 3.** Izquierdo, clasificación por país. Derecho, por periodo.

Para la última clasificación se acoplaron los otros tipos de uniones realizadas (Tabla 4). Aquí encontramos siete tipos de uniones, la primera utiliza adhesivos naturales para después únicamente calentar para una mejor unión. La segunda es mediante adhesivos con la utilización de piezas metálicas (tornillos, pernos, clavos, etc.). Para la tercera menciona que se utilizó la termo compresión, pero previamente se impregnaron adhesivos naturales. La cuarta simplemente utiliza piezas metálicas, otra es simplemente mediante el prensado industrial, y las últimas dos serían mediante tejido del bambú con hebras y la otra mencionaba la unión mediante una tira adhesiva industrial.

**Tabla 4**  
Tableros y paneles que usaron otro tipo de unión.

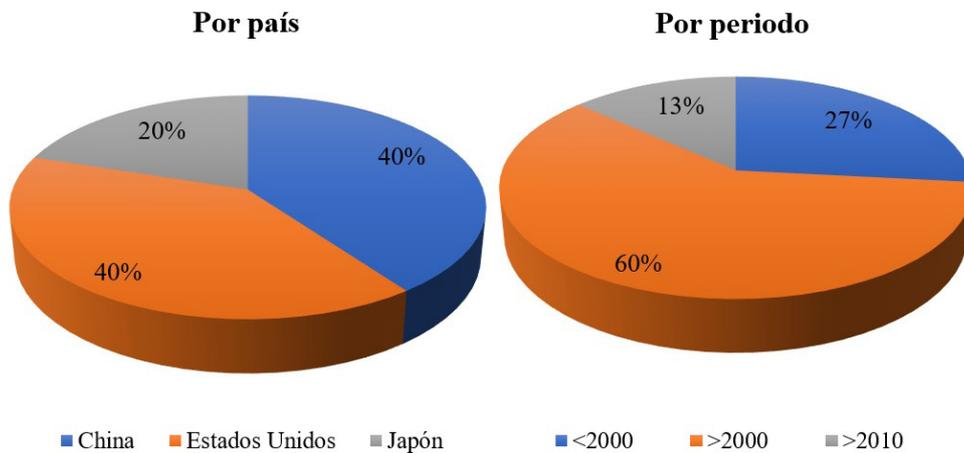
<b>Título del artículo</b>	<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>País</b>	<b>Unión</b>
Tablero de alambre de bambú (Bamboo wire board)	Yoshida Seiji	2001	China	Adhesivos y calentamiento
Paleta de bambú (Bamboo pallet).	Robert H. Gow	1995	Estados Unidos	Adhesivos y piezas metálicas
Tablero de bambú (Bamboo board).	Yumi Ishino	2009	Japón	Adhesivos y piezas metálicas
Tablero de estera de bambú y método para producir el mismo (Bamboo mat board and method for producing the same).	Ao Yu Chang	2004	Estados Unidos	Adhesivos y termo compresión
Panel compuesto de madera de bambú ultra grueso, panel compuesto de madera sólida ultra grueso y métodos de fabricación del mismo (Ultra thick bamboo-wood composite panel, ultra thick solid wood composite panel and manufacturing methods thereof).	Wenju Yu, Yanglu Yu, Yue Zhou, Rongxian Zhu, Dinghua Ren	2009	Estados Unidos	Adhesivos y termo compresión
Tablero de bambú (Bamboo board).	Takahiro Hoshikawa, Hideki Takiguchi, Hiroyuki Umetsu	1996	Japón	Adhesivos y termo compresión
Tablero de bambú que evita el uso de adhesivos (Bamboo board avoiding use of adhesives).	Zhou Chunfa, Zhou Sangyu	2011	China	Piezas metálicas
Panel de varilla de bambú (Bamboo rod panel).	Robert H. Gow	1997	Estados Unidos	Piezas metálicas
Material de tablero de bambú largo sin costuras (Seamless long bamboo board material).	Gao Yong, Gao Shiqing, Gao Shibin	2008	Japón	Piezas metálicas
Método de fabricación mejorado para tablero laminado de cola de bambú (Improved making method for bamboo glue laminated board).	Zhang Qisheng	1991	China	Prensado
Placa de parquet de bambú y su método de fabricación (Bamboo parquet plate and its manufacturing method)	Zhang Aoyu	2003	China	Prensado
Tablero de bambú con texturas curvas (Bamboo board with curve textures).	Zhong Yuanguai	2010	China	Prensado
Tablero compuesto de estera tejida con astillas de bambú (Composite board of bamboo chip woven mat).	Gu Hongbo	2008	China	Tejido
Panel que contiene bambú (Panel containing bamboo).	Nian-hua Ou, Brian Christopher Gerello	2009	Estados Unidos	Tejido
Panel con bambú y cedro (Panel containing bamboo and cedar).	Eric Lawson, Brian Gerello, Federico Cecilio, Brian Peek	2005	Estados Unidos	Tira adhesiva

Al existir varios tipos de uniones, se creó una nueva comparativa para ver el porcentaje del tipo de uniones acopladas en la tabla anterior. En el Gráfico 4 vemos como el 60 % queda repartido en adhesivos y termo compresión, piezas metálicas y prensado con 20 % cada uno, continúa con otro empate entre adhesivos y piezas metálicas y tejido ambos con 13 %, y finaliza con adhesivos y calentamiento y tira adhesiva, ambos con 7 %.



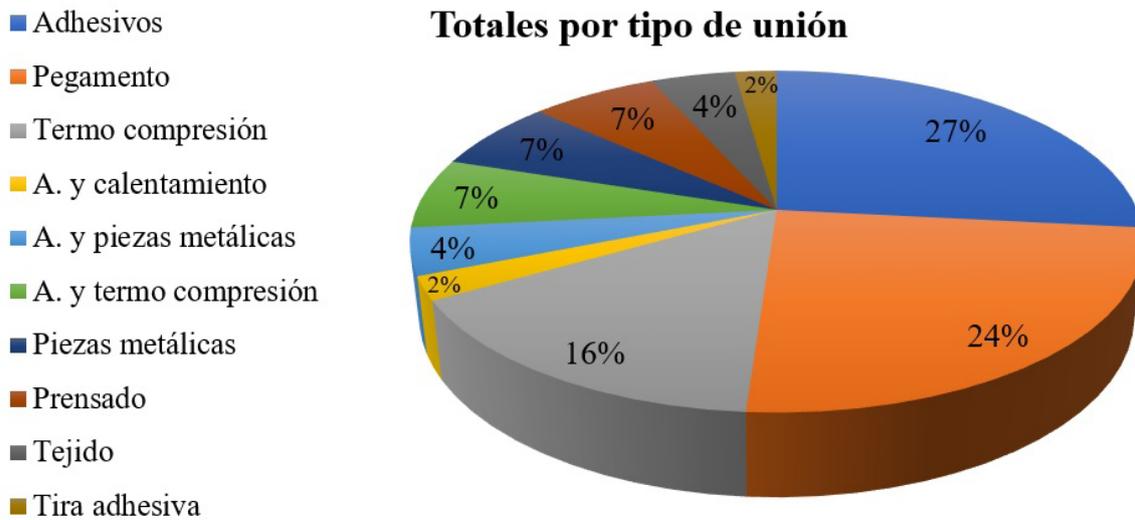
**Gráfico 4.** Clasificación por unión.

Continuando con los países que hicieron este tipo de uniones, vemos en el Gráfico 5 del lado izquierdo, que el 80 % queda repartido en China y Estados Unidos con 40 % cada uno, quedando Japón con el 20 %. En el lado derecho, en los periodos, domina con un 60 % mayor a 2000, sigue menor a 2000 con el 27 % y finaliza con 13 % mayor a 2010.



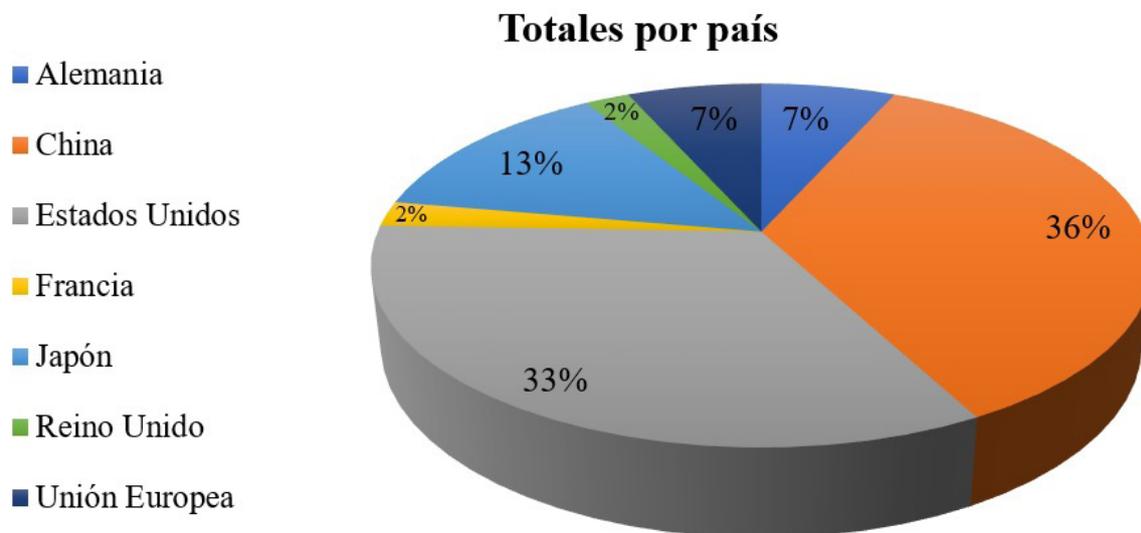
**Gráfico 5.** Izquierdo, clasificación por país. Derecho, por periodo.

Una vez realizado el análisis de todas las tablas, se procedió hacer un estudio global utilizando los mismos parámetros presentados en los gráficos anteriores. En lo que respecta a los tipos de unión, en total fueron 10, donde el 67 % del total queda repartido en adhesivos, pegamento y termo compresión con 27 %, 24 % y 16 % respectivamente (Gráfico 6).



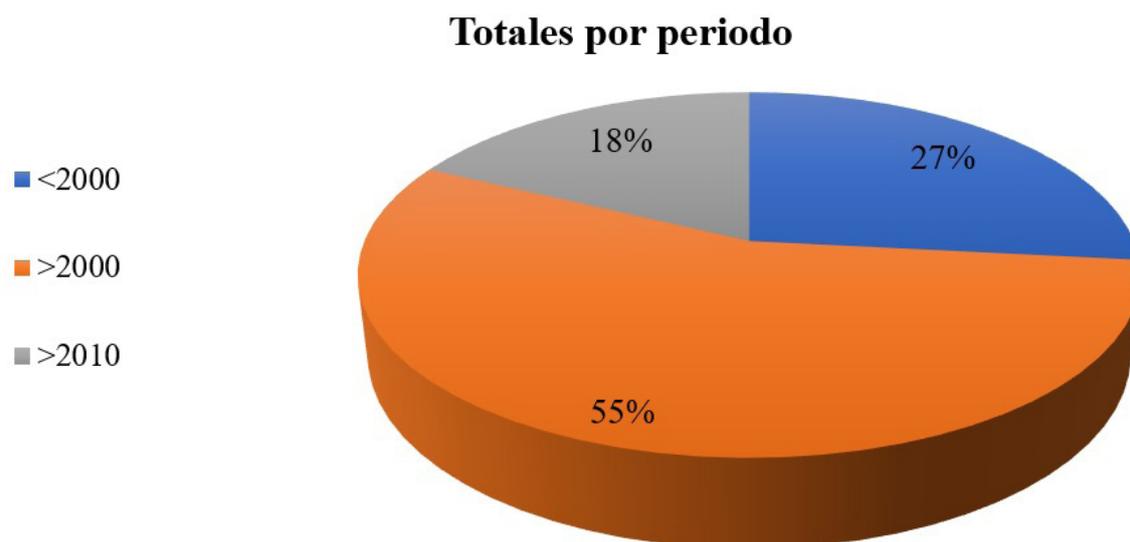
**Gráfico 6.** Porcentaje total por tipo de unión.

Continuando con los países, se había mencionado que se encontraron estudios en un total de ocho. En el Gráfico 7 resalta el dominio de dos países con el 69 % del total, primero China con 36 % y luego Estados Unidos con 33 %. Cabe resaltar que China es uno de los países en el mundo que más produce bambú, mientras que Estados Unidos no es un país productor, por lo cual vemos que este país ve con gran potencial el utilizar este recurso forestal no maderable.



**Gráfico 7.** Porcentaje total por país.

Englobando todos los estudios y viendo los periodos en los que se realizaron, más de la mitad (55 %) domina el periodo entre al año 2000 y 2009, y comparando con los otros dos, se aprecia una amplia diferencia en esta década, donde se demuestra un gran auge en las investigaciones con bambú en respuesta a la búsqueda de un material alternativo a la madera convencional.



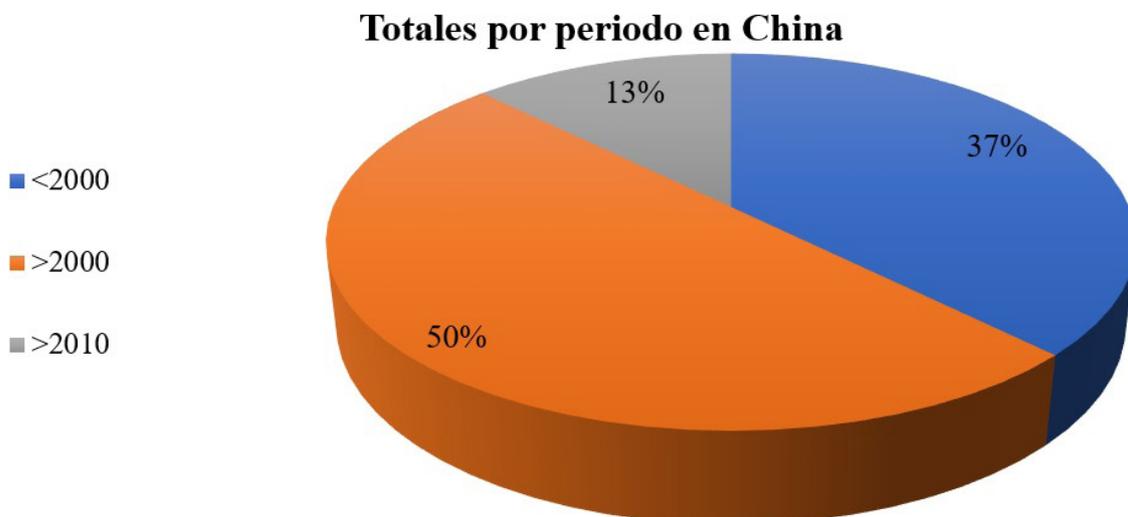
**Gráfico 8.** Porcentaje total por periodo.

Como se vio que tanto China como Estados Unidos fueron los países con el mayor porcentaje de investigaciones, el análisis a fondo se enfocó en ambos. De todos los tipos de unión utilizados en China, en el Gráfico 9 vemos que la mitad de tipos queda entre pegamento y termo compresión, ambos con 25 % cada uno.



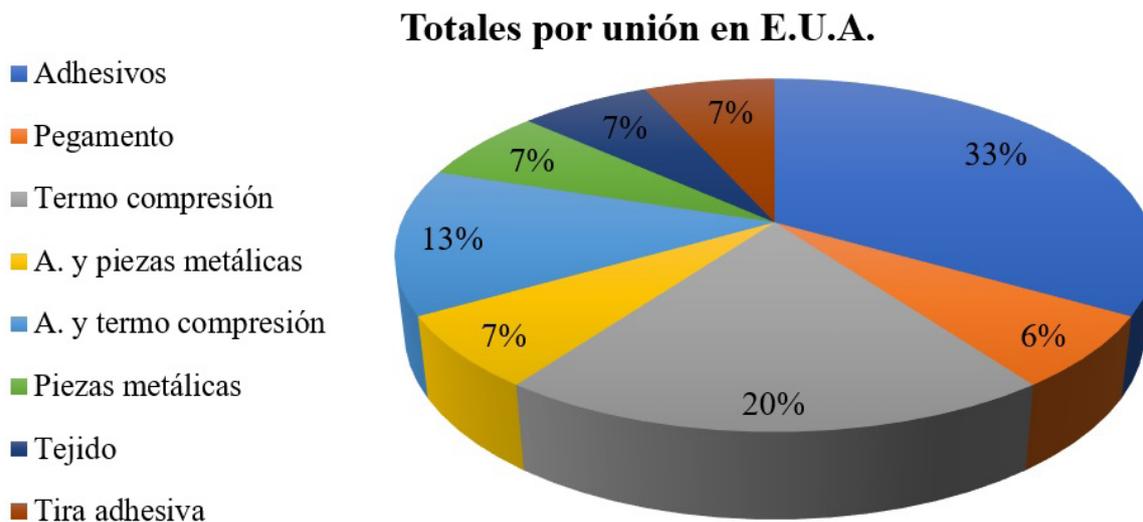
**Gráfico 9.** Porcentaje total por unión en China.

Igualmente podemos observar en el Gráfico 10 que domina con el 50 % el periodo entre el año 2000 y 2009, mientras que el comprendido después de 2010 disminuyó drásticamente, indicando la eficiencia de los utilizados en el periodo anterior.



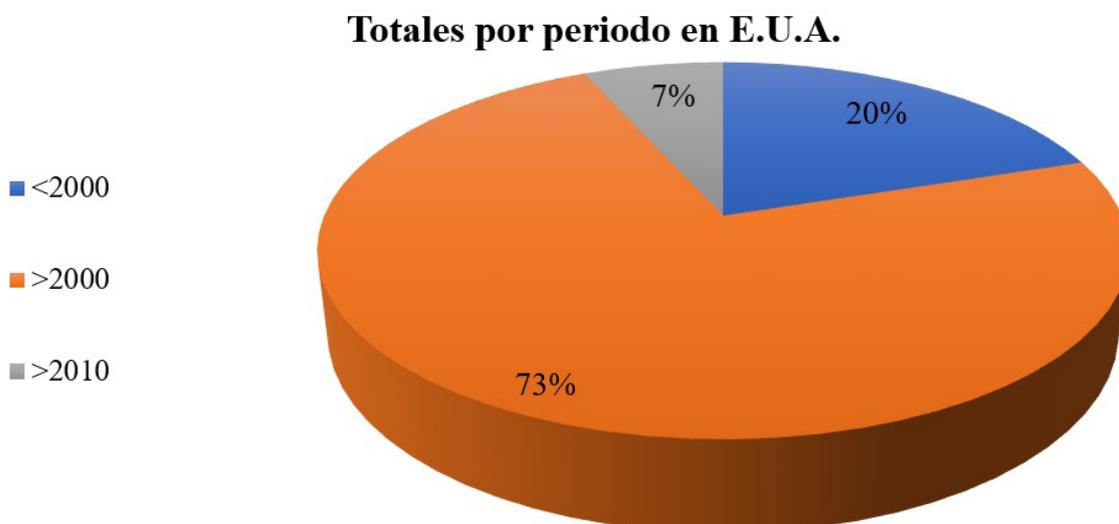
**Gráfico 10.** Porcentaje total por periodo en China.

De todos los tipos de unión utilizados en Estados Unidos, en el Gráfico 11 vemos que un poco más de la mitad de tipos quedan entre adhesivos y termo compresión, en 33 % y 20 % respectivamente.



**Gráfico 11.** Porcentaje total por unión en Estados Unidos.

Por otro lado, observamos en el Gráfico 12 que domina con el 73 % el periodo entre los años 2000 y 2009, mientras que el comprendido después de 2010, disminuyó drásticamente indicando la eficiencia de los utilizados en el periodo anterior.



**Gráfico 12.** Porcentaje total por periodo en Estados Unidos.

## Conclusiones

Existen gran variedad de procesos, metodologías y conocimientos respecto a la construcción de paneles y tableros de bambú que van desde los menos utilizados como los mixtos (empleando adhesivos con otro tipo, como tiras, piezas metálicas y calentamiento), hasta los más utilizados como los simples, entre ellos los adhesivos naturales, pegamentos industriales y la termo compresión.

Los estudios analizados consideran con gran preocupación que se está incurriendo en una crisis de producción de maderas duras en el mundo, debido a la tala masiva de bosques y la lentitud en su recuperación, ya que el desarrollo de los nuevos árboles tarda más de 20 años. También se concuerda que el bambú por sus características, tales como: a) Rápido crecimiento, ya que entre los 5 y 6 años adquieren su madurez. b) Solo se cortan los culmos maduros permaneciendo estable su fronda. c) No requiere de grandes cuidados, fertilizantes ni riego; puede ser una opción de reemplazo de las maderas duras.

China, Estados Unidos y Japón, son los países que han desarrollado la mayor cantidad de estudios y patentes para la producción de paneles y tableros de bambú. Según la literatura, China y Japón son los países con un alto índice de producción de bambú; sin embargo, China resalta como el primer país con el mayor número estudios y patentes con un 36 % y Japón con un 13 %. No obstante, Estados Unidos, Alemania, Francia, Reino Unido y la Unión Europea no son productores, pero destaca como segundo lugar Estados Unidos con un 33 %, pues ve al bambú como alternativa ante la crisis maderable que fuertemente los afecta.

Las patentes y estudios realizados crecieron en gran medida en la década comprendida del 2000-2009, tanto en China con un 50 % como en los Estados Unidos con el 73 %, en ambos casos se observó que en la década siguiente se redujeron significativamente estos porcentajes dando a entender que los resultados obtenidos en dicho periodo, fueron muy favorables y productivos.

Los tipos de unión más utilizados por China fueron los pegamentos y la termo compresión con 25 % cada uno, en Estados Unidos los más empleados fueron los adhesivos naturales con 33 % y la termo compresión con 20 %. Con estos resultados podemos decir que el tipo de unión para la fabricación de tableros y paneles de bambú más utilizado fue logrado con el proceso de termo compresión con un 45 %, le sigue los adhesivos naturales 32 % y, por último, los pegamentos industriales con 23 % aproximadamente.

Falta proponer en México, otros tipos de uniones que puedan considerar combinaciones con materiales que sean producto de la reutilización o reciclaje, que posean potencialidades ya sea por su fácil obtención o porque su utilización disminuya alguna problemática ambiental que abone a la mitigación del cambio climático, y que provoque a su vez, un desarrollo económico al generar fuentes de trabajo y baje los costos de producción favoreciendo a los sectores sociales más vulnerables.

## **Bibliografía**

- Chu, A. C. (1989). Patente de Estados Unidos No. 4.810.551. Washington, D.C., Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos.
- Lou, D.J. (2003). U.S. Patent No. 6.641.885. Washington, D.C., U.S. Patent and Trademark Office.
- Ou, N. H. (2008). U.S. Patent No. 7.459.206. Washington, D.C., U.S. Patent and Trademark Office.
- Yoshida, S. (2004). Patente de Estados Unidos No. 6.689.298. Washington, D.C., Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos.
- Yu, W., Yu, Y., Zhou, Y., Zhu, R., y Ren, D. (2014). U.S. Patent No. 8.747.987. Washington, D.C., U.S. Patent and Trademark Office.
- Zhang, S. y Zhang, F. (2014). U.S. Patent No. 8.663.769. Washington, D.C., U.S. Patent and Trademark Office.
- Ou, N. H., & Mao, H. K. (2009). U.S. Patent No. 7,625,631. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Gow, R. H. (1999). U.S. Patent No. 5,916,105. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Yu, Y., Yu, W., Zhou, Y., Zhu, R., Ren, D., & Su, Z. (2011). U.S. Patent Application No. 13/201,279.
- Ou, N. H., & Gerello, B. C. (2009). U.S. Patent Application No. 12/405,110.