



# Ecotecnias y sustentabilidad ambiental en el trópico húmedo



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”

# Ecotecnias y sustentabilidad ambiental en el trópico húmedo

**C O L E C C I Ó N**  
**JOSÉ N. ROVIROSA**  
*Biodiversidad, desarrollo sustentable y trópico húmedo*

**Guillermo Narváez Osorio**  
*Rector*

**Arturo Garrido Mora**  
*División Académica de Ciencias Biológicas*

# Ecotecnias y sustentabilidad ambiental en el trópico húmedo

## Editores

Arturo Garrido Mora

Alberto J. Sánchez

Rosa Florido



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”

Primera edición, 2021

© Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
[www.ujat.mx](http://www.ujat.mx)

ISBN: 978-607-606-572-3

Esta obra fue dictaminada mediante el sistema de pares ciegos, así como por el Consejo Divisional Editorial de la División Académica de Ciencias Biológicas de la UJAT.

Queda prohibida su reproducción comercial sin contar previamente con la autorización expresa y por escrito del titular, en los términos de la Ley Federal de Derechos de Autor. Se autoriza su uso no comercial siempre y cuando se cite la fuente.

Foto de portada: Secretaría de Relaciones Públicas de la UJAT.

Hecho en Villahermosa, Tabasco, México.

El presente volumen recoge los artículos correspondientes a proyectos e investigaciones científicas presentadas por profesores investigadores y alumnos destacados de la División Académica de Ciencias Biológicas durante la Semana de Difusión y Divulgación Científica de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

# ÍNDICE

<b>Árbitros</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULOS</b>	
<b>Diversidad arbórea y captura de carbono en cacaotales de sombra en Comalcalco, Tabasco.</b>	<b>11</b>
José Luis Martínez-Sánchez, Luisa Cámara-Cabrales, Nallely Moreno-Gómez	
<b>Diversidad morfológica de poblaciones silvestres y semi-silvestres de chile de las comunidades de Tabasco y Chiapas.</b>	<b>28</b>
Guillermo Castañón-Nájera, Yasmín Araceli Gálvez-Muñoz, María Esther Cea-Miggenes, Julia María Leshner-Gordillo, José Luis Martínez-Sánchez	
<b>Calidad bacteriológica en filete de pescado.</b>	<b>42</b>
Lucero Vázquez-Cruz, María de Lourdes Torres-Pérez, Rosa Martha Padrón-López	
<b><i>Pseudomonas aeruginosa</i>: patógeno oportunista con potencial de biodegradar polietileno de baja densidad.</b>	<b>50</b>
Jenestey Alexi García, Rosa Martha Padrón López, Lucero Vázquez Cruz, María de Lourdes Torres Pérez	
<b>Potencial de aprovechamiento de subproductos orgánicos e inorgánicos acopiados en el Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos DACBiól.</b>	<b>58</b>
Israel Ávila-Lázaro, José Ramón Laines-Canepa, José Aurelio Sosa-Olivier	

**Tratamiento de aguas residuales en humedales artificiales con *Thalia geniculata*.**

Gaspar López-Ocaña, Carlos Alberto Torres-Balcázar, Rocío López-Vidal, Liliana Pampillón-González, Arturo Valdés-Manzanilla

**69**

**Monitoreo automático de la temperatura con un dispositivo electrónico integrado por un sensor de bajo costo.**

Sergio Ramos-Herrera, Anahí Guadalupe Bolaina-García, David Balladares-de la Cruz

**86**

**Edificios no saludables: evaluación preliminar.**

Marcela Alejandra Cid-Martínez, Yoana Alejandra González-Sánchez, Reyna Lourdes Fócil-Monterrubio

**97**



# Árbitros

Dr. Arturo Garrido Mora, Dr. Alberto de Jesús Sánchez Martínez, Dra. Coral Jazvel Pacheco Figueroa, M. en C. Elías José Gordillo Chávez, MISA. Elizabeth Magaña Villegas, Dra. Erika Escalante Espinosa, Dr. Gaspar López Ocaña, Dr. Guillermo Castañón Nájera, Dr. Humberto Hernández Trejo, Dra. Julia María Lesher Gordillo, Dr. León David Olivera Gómez, Dra. Liliana Pampillón González, Dr. Magdiel Torres de la Cruz, Dr. Miguel Alberto Magaña Alejandro, Dr. Mircea Gabriel Hidalgo Mihart, Dr. Rafael Martínez García, M. en C. Rosa Amanda Florido Araujo, Dra. Sughey López Martínez, Dr. Ulises Hernández Vidal, Dra. Verónica Isidra Domínguez Rodríguez

SEMANA DE DIFUSIÓN Y  
DIVULGACIÓN CIENTÍFICA **2019**



**Fotografía:** Interior de un cacaotal en el municipio de Cunduacán, Tabasco.  
José Luis Martínez Sánchez.

# CAPÍTULO 1

# DIVERSIDAD ARBÓREA Y CAPTURA DE CARBONO EN CACAOTALES DE SOMBRA EN COMALCALCO, TABASCO

José Luis Martínez Sánchez  
Luisa Cámara Cabrales  
Nallely Moreno Gómez<sup>1</sup>

## RESUMEN

Para conocer la diversidad arbórea y captura de carbono se muestrearon 285 parcelas de cacao en 10 comunidades de Comalcalco, Tabasco. En cada comunidad, se colocaron 15 parcelas de 100 m<sup>2</sup> que contaban con manejo de Sanidad Vegetal y 15 con manejo Tradicional. Se midió el diámetro a la altura del pecho y altura de los árboles; se estimó densidad, y riqueza utilizando índices de diversidad de Shannon, Sørensen y Valor de Importancia. Para las herbáceas, en 4 subparcelas de 1 m<sup>2</sup> se midió altura y cobertura. Se encontraron 29 especies y 17 familias para manejo de Sanidad Vegetal y 29 especies y 14 familias para Manejo Tradicional. Los valores de Shannon oscilaron entre 0.66 y 1.30. Los cacaotales comparten entre 91.7 % y 40 % de las especies. El uso principal (53 %) de los árboles de sombra fue para madera aserrada, construcción y consumo de frutos con un 26 %. El carbono total almacenado fue  $42.69 \pm 11.99$  ton C ha<sup>-1</sup> para Sanidad Vegetal y  $38.93 \pm 8.03$  ton C ha<sup>-1</sup> para Manejo Tradicional. No se encontraron diferencias significativas entre diversidad y almacenamiento de carbono debido a que estas plantaciones son manejadas silvícolamente.

---

<sup>1</sup> División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, kilómetro 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas, Entronque Bosques de Saloya, Villahermosa, 86039, Tabasco, México.  
jose.martinez@ujat.mx

## INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una planta originaria de América que se ha destinado tradicionalmente a la producción del chocolate. Los cacaotales son sistemas agroforestales, en donde el árbol de cacao se siembra bajo la cobertura de árboles de sombra, principalmente maderables y frutales (Soto, Jiménez & Lerner, 2008). En México, la competencia con la ganadería y el ataque de enfermedades ha ocasionado una retracción de la superficie ocupada por este cultivo. Actualmente, la superficie cultivada con cacao en México es de 63,971 ha repartidas en los estados de Tabasco, Chiapas, Oaxaca y Guerrero (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural-Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesquero [SEDAFOP-SAGARPA], 2010). Tabasco cuenta con 40,735 ha de siembra del cacao (SEDAFOP-SAGARPA, 2010). Al municipio de Comalcalco le corresponde el 28 % del total de la superficie de cacao cultivada en todo el Estado (<http://leirpage.galeon.com/comalcalco.htm>), por ser un gran productor de cacao con una superficie de 10,894 ha de cacao y con 9,975 productores.

Debido a las altas emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera que causan efecto de invernadero, calentamiento global y cambio climático; la captura de carbono es una solución actual importante. La cantidad de CO<sub>2</sub> que el árbol captura durante un año consiste sólo en el pequeño incremento anual que se presenta en la biomasa del árbol (madera), ya que parte regresa a la atmósfera mediante la respiración de los árboles y las plantas y por descomposición de la materia orgánica muerta en los suelos (oxidación) ([www.textoscientificos.com/node/887](http://www.textoscientificos.com/node/887)).

Los bosques almacenan una importante cantidad de carbono (C) tanto al nivel de la vegetación como de los suelos, jugando así un papel importante en el intercambio de CO<sub>2</sub> entre la biosfera y la atmósfera (Pineda-López, Ortiz-Ceballos & Sánchez-Velázquez, 2005). Los sumideros terrestres de carbono se refieren al carbono contenido en los ecosistemas forestales (vegetación viva, materia orgánica en descomposición y suelo) y sus productos (maderables y no maderables, combustibles fósiles no usados, entre otros) (Yáñez, 2004).

Los cacaotales tienen una gran diversidad de árboles de sombra utilizados para este tipo de cultivo. Actualmente el principal problema fitosanitario que enfrenta la producción cacaotera del estado de Tabasco es la moniliasis (*Moniliophthora roreri*), un hongo que ataca a los frutos, sin importar la edad y que ocasiona una baja cosecha ya que se debe eliminar los frutos enfermos.

La Junta Local de Sanidad Vegetal de la Costa de Tabasco tiene implementada una campaña contra la moniliasis del cacao en Comalcalco la cual consiste en: podas de los árboles de cacao, aclareo de sombra, remover los frutos dañados, eliminación de maleza y mantenimiento de drenes y la fertilización. Debido a esto se realizaron muestreos en parcelas de cacao con manejo de Sanidad Vegetal (SV) y con el manejo Tradicional (MT) para hacer la comparación entre ellos y cómo esto podría afectar la captura de carbono. El porcentaje de podas que se realizan a los árboles de cacao es de un 60 % y un 70 % a los árboles utilizados como sombra, sin embargo, en el año que se realizó el presente estudio no se efectuó poda alguna.

La densidad y diversidad de árboles en una plantación de cacao son de suma importancia para la captura de carbono y proveen servicios como la producción de hojarasca, reciclaje de nutrientes, conservación de agua (Salgado-Mora *et al.*, 2007). Es por ello por lo que en este trabajo se estudió la estructura y composición arbórea en cacaotales, se determinaron los usos de los árboles de sombra y se estimó la captura promedio de carbono o línea base. El objetivo fue conocer la diversidad arbórea, los usos de los árboles de sombra y su línea base de carbono en Comalcalco, Tabasco. Las metas fueron estimar la captura de carbono del sistema de cacao de sombra del estado de Tabasco, a partir de un mínimo de diez localidades.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

**Estructura arbórea de los cacaotales.** El área de estudio fue en el municipio de Comalcalco, Tabasco que se localiza en la región de la Chontalpa entre las coordenadas geográficas extremas 18°26' - 18°09' Latitud Norte, y 93°13' - 93°23'

Longitud Oeste ([www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)). El municipio es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Am), tiene una temperatura media anual de 26.4 °C, siendo la máxima media mensual en mayo con 30.5 °C, y la mínima media en diciembre y enero con 22 °C (INEGI, 2011).

Se establecieron 19 sitios de muestreo, 10 con manejo de sanidad vegetal y nueve con manejo tradicional debido al programa del Comité de Sanidad Vegetal que tiene implementado para controlar la moniliasis en el área de estudio. En cada sitio de muestreo se establecieron 15 parcelas (UM) haciendo un total de 285 parcelas. Las parcelas fueron de 10 x 10 m (100 m<sup>2</sup>) las cuales se hicieron aleatoriamente, donde se midió y cuantificó la vegetación arbórea. Se muestreo un total de 2.85 hectáreas. Para las especies de árboles que se encontraron en el cacaotal se le tomó el diámetro a la altura del pecho (d.a.p, en cm) y la altura total (m).

Se estimaron el Índice de valor de importancia:

$$IVI = \text{Densidad relativa} + \text{Dominancia relativa} + \text{Frecuencia relativa.}$$

Índice de Shannon-Wiener (Begon, Harper & Townsend, 2006).

$$H' = - \sum P_i * \ln P_i$$

Donde

$P_i$  = abundancia relativa.

Índice de similitud florística de Sørensen basado en datos de presencia/ausencia de especies:

$$IS = \frac{2C}{A + B} \times 100$$

Donde

A = número de especies presentes en el sitio A.

B = número de especies presentes en el sitio B.

C = número de especies presentes en ambos sitios A y B.

En los sitios de muestreo o localidades se realizaron 66 entrevistas dirigidas a los dueños de las plantaciones de cacao, para conocer los usos que les dan a los árboles de sombra de las especies encontradas en las parcelas y la edad de la plantación.

**Captura de Carbono.** Se calculó el contenido de carbono orgánico en árboles, raíz, herbáceas, hojarasca y ramas caídas según el método de Rendón & Soto (2007). Para los árboles se utilizaron datos de diámetro a la altura del pecho, altura total y densidad de la madera, los cuales se utilizaron en las ecuaciones alométricas de Chave *et al.* (2005):

$$Y = \exp(-2.977 + \ln(\rho D^2 H))$$

Donde:

Y= biomasa (kg árbol<sup>-1</sup>).

exp(n)=2.718<sup>n</sup> (elevar la base; e=2.718, a la potencia n).

ln= logaritmo natural (base e=2.71...).

ρ= densidad de la madera por especies o promedio (gr cm<sup>-3</sup>).

D= diámetro a la altura del pecho o dap (cm).

H= altura (m).

Biomasa de raíces (Cairns *et al.*, 1997):

$$Y = \exp(-1.0587 + 0.8836 \ln(ABD))$$

Donde:

Y= Biomasa total de raíces gruesas y finas (peso seco).

exp(n)=2.718<sup>n</sup>.

ABD= Biomasa arbórea (Mg/ha de materia seca).

Para las herbáceas se realizaron, dentro de las UM, cuatro subparcelas de 1x1 m<sup>2</sup> donde se tomaron los datos de las herbáceas y la cobertura visual dentro de la parcela (Rendón & Soto, 2007).

El factor de cobertura (f<sub>c</sub>) se definió con la fórmula:

$$f_c = c \times h$$



Donde:

c= Cobertura dentro de un cuadrado de 1x1 m<sup>2</sup>.

h= Altura promedio de las plantas. (Hmax + Hdom)/2.

Para estimar el peso seco de las herbáceas, se utilizó una ecuación para tallos leñosos ( $x_e$ ) y otra para tallo suculento ( $x_u$ ); en estas se utilizan los resultados del factor de cobertura:

$$x_e=(f_c/0.37)-11.62$$

$$x_u=(f_c/0.27)-51.85$$

Para la estimación de la hojarasca se estimó dentro de las unidades de muestreos mediante cuatro cuadrantes de 1x1m, a los cuales se les midió la profundidad de la hojarasca a cada uno de los cuadrantes; la biomasa en kilogramos por hectárea de hojarasca se calcula multiplicando el promedio por cuadrado (1 m<sup>2</sup>) por el factor conversión (metros-hectárea) que es igual a 40 (Rendón & Soto, 2007):

$$B_H=40H_P$$

Donde:

B<sub>H</sub>= Biomasa de hojarasca y humus (kg ha<sup>-1</sup>).

40= Factor de conversión (para convertir a kg ha<sup>-1</sup>).

H<sub>P</sub>= Biomasa promedio por cuadrado (1 m<sup>2</sup>)

Dentro de la misma unidad de muestreo se trazó una línea de 10 m que atravesaba la unidad de muestreo y en dicha línea todas las ramas caídas que la cruzaban se les midió el largo con la cinta métrica y el diámetro con un vernier; las ramas con largos mayores de 50 cm de largo se les tomaron dos diámetros (Rendón & Soto, 2007):

$$V= \pi L (D/2)^2$$

Donde:

V= Volumen (cm<sup>3</sup>).

L= Longitud (cm).

D= Diámetro (cm).

La biomasa total y captura de carbono total en  $\text{ton ha}^{-1}$  se calculó con la suma de todos los componentes evaluados de la biomasa y se obtuvo la biomasa total. Se sumó la biomasa de árboles, raíces, hojarasca y ramas caídas y al resultado se le obtiene la mitad (Brown, 1997; Rendón y Soto, 2007):

$$C_T = 0.5 (C_{Bv} + C_{Bd})$$

Donde:

$C_T$  = Carbono total.

$C_{Bv}$  = Carbono contenido en la biomasa viva (biomasa en árboles, herbáceas y raíces).

$C_{Bd}$  = Carbono contenido en la biomasa en descomposición (hojarasca y ramas caídas).

## RESULTADOS

La riqueza de especies arbóreas de las plantaciones de cacao fue de 29 con 17 familias y 26 géneros. El valor de importancia mayor fue de 113.4 para *Teobroma cacao* en el manejo con sanidad y de 124.0 en el manejo tradicional. Los valores de diversidad de Shannon de especies para los sitios muestreados son muy similares los cuales oscilan entre 0.66 y 1.30 (Tabla 1). La UM7 y UM8 presentan un alto índice de similitud con un valor de 91.7 % indicando que esta proporción de individuos es común en ambas muestras mostrando gran semejanza florística, mientras que la UM1 y UM2 y, UM9 y UM10 presentan una igualdad en semejanza florística con un valor de 40 % indicando una similitud baja (Tabla 2).

En cuanto a las encuestas realizadas en las UM a los dueños de las plantaciones, 17 de las 36 especies encontradas, utilizan el fruto de los árboles usados como sombra en un 27 % (Figura 1). En las parcelas se encontraron con frecuencia especies no maderables como son el plátano y palmas que los cacaoteros usan como sombra para el cacao. Un 26 % de las especies es utilizado para postes, estacas y horcón que son usados para cercas de las parcelas y para el mantenimiento de la casa de los dueños de las plantaciones el 14 %. La edad promedio de las plantaciones es de 45 años.

**Captura de carbono aéreo.** El manejo de sanidad vegetal tuvo en Occidente 3ra una mayor captura de carbono con 58.67 y Occidente 1ra con 19.67 ton C ha<sup>-1</sup> (Figura 2). El promedio y desviación estándar de carbono aéreo para sanidad vegetal fue de 35.36 ± 10.17 ton C ha<sup>-1</sup>; y para el manejo tradicional fue de 32.13 ± 6.78. No hubo diferencias significativas ( $p \geq 0.711$ ).

**Captura de carbono radical.** Para el caso de raíz para el manejo de sanidad vegetal la localidad con mayor retención de C fue Occidente 3ra con 11.34 ton C ha<sup>-1</sup>, mientras que la más baja con 4.41 ton C ha<sup>-1</sup> fue Occidente 1ra (Figura 3). Sin embargo, la captura de carbono de raíz para ambos tipos de manejo fue similar (sanidad vegetal de 7.27 ± 1.78; manejo tradicional de 6.75 ± 1.24 ton C ha<sup>-1</sup>).

**Captura de carbono herbáceo.** El promedio de carbono de herbáceas para sanidad vegetal fue de 0.032 ± 0.030; para el manejo tradicional fue de 0.033 ± 0.009 ton C ha<sup>-1</sup>.

**Captura de carbono hojarasca.** Para el manejo de sanidad vegetal, la que presentó mayor secuestro de C fue E. Zapata 1ra con 0.056 ton C ha<sup>-1</sup> y la más baja fue Zaragoza 1ra con 0.023 ton C ha<sup>-1</sup>. Para el manejo tradicional las localidades con mayor captación fueron P. Tular 2da y Pino Suarez 1ra con 0.043 ton C ha<sup>-1</sup> c/u y la más baja Occidente 3ra con 0.029 ton C ha<sup>-1</sup> (Figura 7). El promedio de carbono de hojarasca fue similar para ambos tipos de manejo.

**Captura de carbono ramas caídas.** Debido al grado de descomposición, la captura de carbono de ramas caídas fue baja para los dos manejos (0.001 ± 0.001).

**Captura de carbono total.** Para las plantaciones con manejo de sanidad vegetal, la captura de carbono total fue de 42.69 ± 11.99 (2.52 SE) ton C ha<sup>-1</sup> y para el manejo tradicional fue de 38.93 ± 8.03 (2.66 SE) ton C ha<sup>-1</sup> (Figura 4 y 5). De acuerdo

con los resultados obtenidos el 80 % de los datos de captura de carbono corresponden al estrato arbóreo, el 17 % al estrato de la raíz y el 3 % a los estratos de herbácea, hojarasca y ramas caídas tanto para sanidad vegetal como para tradicional no mostraron diferencias ( $p \geq 0.711$ ).

## DISCUSIÓN

Un total de 38 especies de árboles de sombra fue registrado, el cual, además de contribuir con diferentes productos, genera servicios ambientales, como la captura de carbono de  $41.45 \pm 10.21$  ton C ha<sup>-1</sup> en total. Los usos que los propietarios de las plantaciones de cacao les dan a los árboles utilizados como sombra son numerosos y diversos, en los que destacan los maderables como postes, estacas, horcones, largueros, vigas, tablas, leñas con especies como *Tabebuia rosea*, *Colubrina arborescens*, *Cedrela odorata*, entre otras. Los propietarios encuentran un sin número de usos en las que algunas veces el árbol es aprovechado en su totalidad. Otro de los usos principales son los no maderables como frutos (*Mangifera indica*, *Pouteria sapota*, *Citrus x communis*, así como otras). Al fruto, los propietarios lo utilizan para su consumo y en ocasiones para venta local. Los árboles pueden contribuir a la minimización de pérdidas de autosuficiencia alimentaria ofreciendo gran cantidad y variedad de productos o servicios. Satisfacen necesidades primordiales de la familia de una misma unidad de tierra: alimentos, madera, leña, forraje y productos medicinales y servicios ambientales como la captura de carbono.

En las plantaciones de cacao no solo se encuentran árboles maderables, sino que también hay palmas, plátanos y papaya. Comparando los resultados de la presente investigación con los publicados por de Concha, Alegre & Pocomucha (2007), donde ellos reportaron fijación de carbono para plantaciones de 20 años de 32.4 ton C ha<sup>-1</sup> para la biomasa de árboles vivos en seis diferentes SAF de cacao en Perú, se obtuvieron valores de 1.15 ton C ha<sup>-1</sup> en herbáceas, 9.97 ton C ha<sup>-1</sup> en hojarasca y para

los árboles muertos de pie y caídos 0.639 y 0.696 ton C ha<sup>-1</sup> respectivamente, los cuales difieren. Trabajos de captura de carbono en sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* de dos zonas del litoral ecuatoriano de edades de 6.5 años, mostraron que las reservas de carbono en la biomasa aérea, fue de 121 ton C ha<sup>-1</sup>, lo cual resulta semejante a la captura de carbono en los bosques secundarios del trópico (Corral, Duicela & Maza, 2006).

En el marco del proyecto Scolel'te (de Jong & Taylor, 1998), se realizaron inventarios en 25 parcelas circulares en cuatro comunidades indígenas del municipio de Chilón, Chiapas, México, usando métodos destructivos para la estimación de C, a excepción de árboles, juveniles y raíces gruesas, para los cuales se emplearon fórmulas alométricas. Una mayor complejidad de los sistemas agroforestales (Taungya, milpa, barbecho enriquecido y natural) derivó en mayor acumulación de carbono respectivamente (109,4; 127,9; 150,1 y 177,6 ton C ha<sup>-1</sup>). La materia orgánica del suelo fue el mayor reservorio (70 % del C total en todos los sistemas); la biomasa viva y materia orgánica muerta aportaron un tercio del C total.

Baca-Venegas (2000) deduce que el valor del Índice de Shannon oscila entre los valores de 1.5 y 3.5 para bosques de pino-encino. Estos resultados son similares al índice de diversidad presentados en el cacaotal de dos zonas agroecológicas de la región litoral del Ecuador donde sus resultados reportan un valor de 1.2 y 1.1 (León & Guirococha, 2006), en comparación con cacaotales del Soconusco Chiapas donde sus valores son más altos oscilan y entre 2.74 y 2.99 (Salgado-Mora *et al.*, 2007).

En relación con las reservas de carbono encontradas en la biomasa aérea de diferentes sistemas de uso de la tierra, y similar a este estudio, se cuenta con Lapeyre, Alegre & Arévalo (2004) quienes realizaron su evaluación en San Martín; entre dichos sistemas, evaluaron un sistema de cacao en Perú con especies de sombra de edades entre 15 y 20 años, donde se acumuló una reserva de 47 ton C ha<sup>-1</sup>.

Diversos estudios reportan que, en el trópico húmedo para América del sur, un sistema agrosilvícola tiene un potencial de almacenamiento de 39-195 ton C ha<sup>-1</sup> (Casanova-Lugo, Petit-Aldama & Solorio-Sánchez, 2011); en comparación a este estudio donde fue de 19 a 41 en el sistema tradicional y de 26 a 58 ton C ha<sup>-1</sup> en el de sanidad, los cuales se encuentran dentro de ese rango.

En cuanto a los índices (Shannon, Simpson e IVI) y a la captura de carbono no hay diferencias significativas entre los dos tipos de manejo ya que son plantaciones manipuladas por el hombre en las cuales comúnmente siembran las mismas especies para el uso de sombra; y en cuanto al manejo de la SV los árboles no son cortados en su totalidad sino que sólo se les podan el exceso de ramas lo que no perjudica en la captura de carbono por que estas no son quemadas sino dejadas para su descomposición y reincorporación en la misma plantación. Las ecuaciones alométricas utilizan diámetro, altura y densidad de la madera y no reflejan diferencias de la copa de los árboles. Además, el programa de sanidad se implementó en 1996 y las plantaciones iniciaron como sistemas tradicionales en 2009 y la última poda se aplicó un año antes del muestreo del presente estudio.

## **CONCLUSIÓN**

El sistema agroforestal de cacao con árboles de sombra, además de la producción del cacao, proveen de diversos productos maderables y no maderables, así como servicios ambientales como la captura de carbono en promedio de 41.45 ton C ha<sup>-1</sup>, lo que para la superficie de Comalcalco de 10,894 ha sería de 461,605.70 ton C ha<sup>-1</sup>. Esta información puede a futuro ser usada por los productores para poder acceder a los pagos por servicios ambientales.

## **REFERENCIAS**

Baca-Venegas, JM (2000). *Caracterización de la estructura vertical y horizontal en bosques de Pino-Encino* (Tesis de Maestría en Ciencias Forestales). Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León.

- Begon, M; Harper, JL & Townsend, CR (2006). *Ecology*. Barcelona. Edit. Omega.
- Brown, S (1997). *Estimating biomass change of tropical forests*. A primer. Forestry paper 134. Rome, Italy: FAO.
- Cairns, MA; Brown, S; Helmer, EH & Baumgardner GA (1997). Roots biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111: 1-11.
- Casanova-Lugo, F; Petit-Aldama, J & Solorio-Sánchez, J (2011). Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Rev. Chapingo Ser. Cienc. Forest. Amb*, 17(1): 133-143.
- Chave, J; Andalo, C; Brown, S & Cairns, MA (2005). Tree allometric and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145: 87-99.
- Concha, JY; Alegre JC & Pocomucha, J (2007). Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú. *Ecología aplicada*, 6(1-2): 75-82.
- Corral, R; Duicela, L & Maza, H (2006). *Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábigo y cacao, en dos zonas agroecológicas del litoral ecuatoriano*: En resumen, 2006. Consultado en abril de 2012 en «<http://cofenac.org/documentos/Resumenes-Carbono-en-SAF.pdf>»
- De Jong, BHJ & Taylor, J (1998). Scolel-té: proyecto piloto internacional para la captura de carbono. *Ecofronteras*, 5: 23–25.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2011). *Informe de Resultados y Actividades*. 406 p. Consultado en «[https://www.inegi.org.mx/contenidos/transparencia/contenidos/doc/15\\_inf11.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/transparencia/contenidos/doc/15_inf11.pdf)»
- Lapeyre, T; Alegre, J & Arévalo, L (2004). Determinación de las Reservas de Carbono en la biomasa aérea de diferentes sistemas de Uso de la Tierra en San Martín, Perú. *Ecología aplicada*, 3 (1,2): 35-44.
- León, MR & Guiracocha, FG (2006). Diversidad Vegetal Asociada a Cacaotales de dos Zonas Agroecológicas en La Región Litoral del Ecuador. «<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1656/1/3263.pdf>»
- Pineda-López, MR; Ortiz-Ceballos, G & Sánchez-Velázquez, RL (2005). Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. *Madera y Bosques*, 11(2):3-14.
- Rendón, CN & Soto, L (2007). *Manual de metodología rápida para la estimación y monitoreo de Captura de Carbono*. Chiapas, México: El Colegio de la Frontera Sur; CONACYT.
- Salgado-Mora, MG; Ibarra-Núñez, G; Macías-Sámamo, JE & López-Báez, O (2007). Diversidad arbórea en cacaotales del Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia*, 32(11): 763-768.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural-Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesquero [SEDAFOP-SAGARPA] (2010). *Diagnóstico del cultivo de cacao para Tabasco, correspondiente al 2008*. 86 pp.
- Soto, PL; Jiménez, FG & Lerner, MT (2008). *Diseño de sistemas agroforestales para la producción y la conservación. Experiencia y tradición en Chiapas* (63-64 pp). El Colegio de la Frontera Sur.
- Yañez, SA (2004). La captura de carbono en Bosques: ¿Una herramienta para la gestión ambiental? *Gaceta ecológica*, Enero-Marzo, 070. Instituto Nacional de Ecología. Distrito Federal, México. 5-18 pp. Consultado en abril de 2012 «<http://leirpage.galeon.com/comalcalco.htm>»

Tabla1. Valores de diversidad de especies para cada UM.

UM (1500 m <sup>2</sup> )	Manejo	Familias	Número de especies	Número total de individuos	Índice de diversidad de Shannon
UM 1 Occidente 1	SV	8	13	144	1.21
UM 2 Occidente 1	Tradicional	11	12	155	1.07
UM 3 Occidente 2	SV	7	12	164	0.98
UM 4 Occidente 2	Tradicional	8	11	174	1.02
UM 5 Occidente 3	SV	8	13	129	1.05
UM 6 Occidente 3	Tradicional	5	14	137	1.11
UM 7 Occidente 4	SV	9	11	161	1.16
UM 8 Occidente 4	Tradicional	11	13	147	1.10
UM 9 Zaragoza 1	SV	10	13	163	1.05
UM 10 Zaragoza 1	Tradicional	10	17	177	1.13
UM 11 Zaragoza 2	SV	5	8	150	0.90
UM 12 Zapata 1	SV	10	14	142	1.30
UM 13 Zapata 1	Tradicional	8	12	158	0.97
UM 14 Progreso T 1	SV	4	6	136	0.66
UM 15 Progreso T 1	Tradicional	10	18	159	0.99
UM 16 Progreso T 2	SV	12	14	166	1.16
UM 17 Progreso T 2	Tradicional	8	11	164	1.13
UM 18 Pino Suárez 1	SV	8	10	148	0.93
UM 19 Pino Suárez 1	Tradicional	9	11	172	1.04

SV= Sanidad Vegetal

Tabla 2. Valores de similitud florística de Sorensen (IS %).

UM (1500 m <sup>2</sup> )	Manejo	IS %
UM 1 Occidente 1	SV	40
UM 2 Occidente 1	Tradicional	
UM 3 Occidente 2	SV	69.6
UM 4 Occidente 2	Tradicional	



Ecotecnias y sustentabilidad ambiental en el trópico húmedo

UM 5 Occidente 3	SV	51.9
UM 6 Occidente 3	Tradicional	
UM 7 Occidente 4	SV	91.7
UM 8 Occidente 4	Tradicional	
UM 9 Zaragoza 1	SV	40
UM 10 Zaragoza 1	Tradicional	
UM 11 Zaragoza 2	SV	
UM 12 Zapata 1	SV	61.5
UM 13 Zapata 1	Tradicional	
UM 14 Progreso T 1	SV	41.7
UM 15 Progreso T 1	Tradicional	
UM 16 Progreso T 2	SV	64
UM 17 Progreso T 2	Tradicional	
UM 18 Pino Suárez 1	SV	66.7
UM 19 Pino Suárez 1	Tradicional	

SV= Sanidad Vegetal

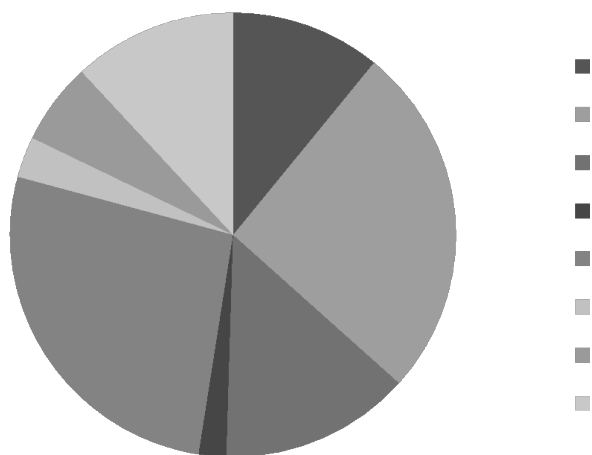


Figura 1. Porcentaje de los usos de los árboles de sombra (n=66).

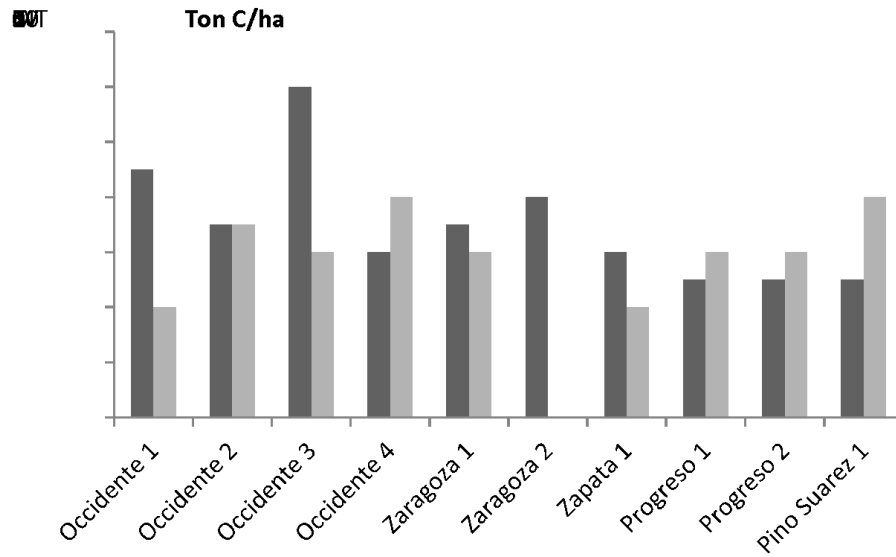


Figura 2. Promedio de captura de carbono en el componente aéreo.

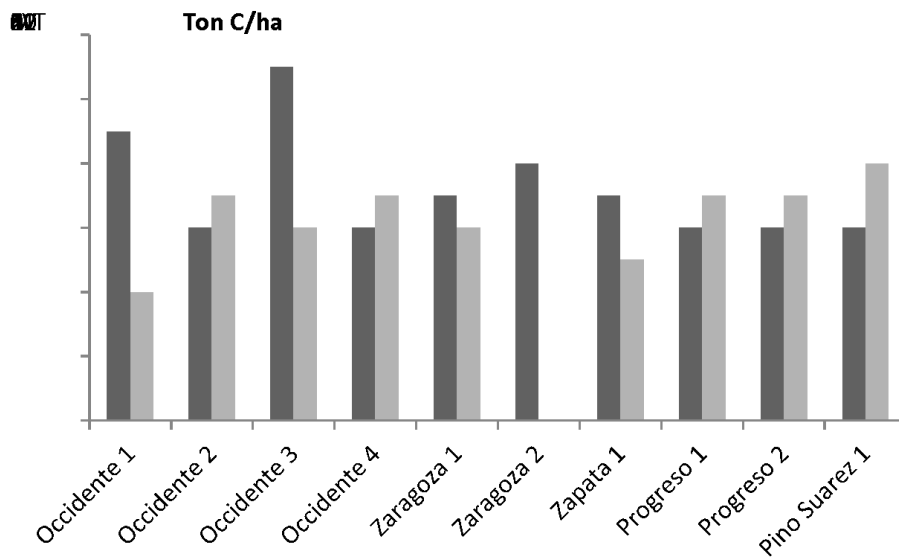


Figura 3. Promedio de captura de carbono (Ton C ha<sup>-1</sup>) en el componente de raíz.

Figura 4. Promedio de captura de carbono en el componente de hojarasca.

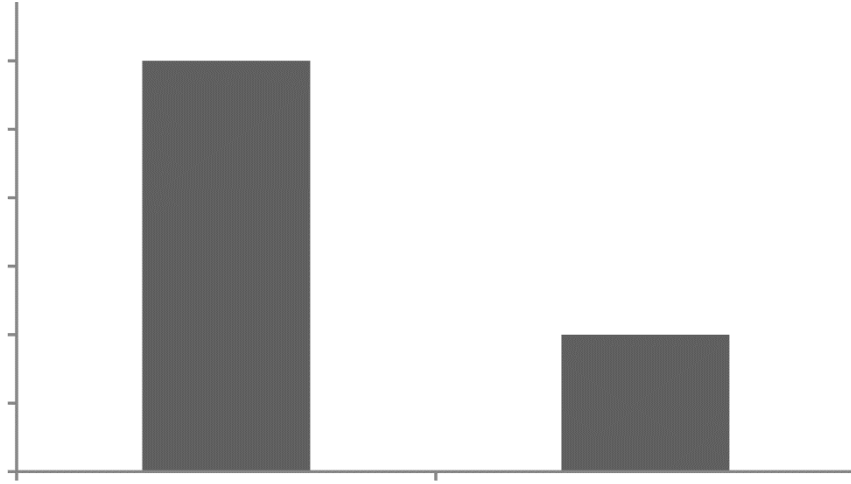


Figura 5. Total de captura de carbono en los agrosistemas de cacao.



**Fotografía:** Variabilidad creada por cruzamiento artificial. Guillermo Castañón Nájera.

## CAPÍTULO 2

# DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE POBLACIONES SILVESTRES Y SEMISILVESTRES DE CHILE DE LAS COMUNIDADES DE TABASCO Y CHIAPAS

Guillermo Castañón-Nájera<sup>1</sup>  
Yasmín Araceli Gálvez-Muñoz<sup>2</sup>  
María Esther Cea-Migenes<sup>2</sup>  
Julia María Leshner-Gordillo<sup>1</sup>  
José Luis Martínez-Sánchez<sup>1</sup>

## RESUMEN

El objetivo fue evaluar *in situ* los morfotipos de *Capsicum* spp. en estado silvestre o semisilvestre en comunidades de Tabasco y Chiapas. Se colectaron los morfotipos Amashito, Pico de paloma, Garbanzo, Ojo de sapo, Ojo de cangrejo, Colmillo de lagarto y Corazón de pollo. Se estimó la variabilidad a poblaciones silvestres y semisilvestres, esta variabilidad es importante ya que se pueden aprovechar las características de formas, colores, sabores y tamaños, por ser una valiosa fuente de genes. Detectar estos genes es una contribución al mejoramiento genético de las especies comerciales. A las poblaciones encontradas se les midió: color de tallo y hoja, forma de la hoja, margen del cáliz, forma del tallo, hábito de crecimiento de la planta, hábito de ramificación, posición de la flor, color del fruto y forma de fruto. Las variables cuantitativas medidas fueron altura de planta, diámetro de tallo, número de flores por axila, longitud y ancho del fruto, y número de semillas por fruto. Se realizó el análisis de componentes principales con las nueve variables más importantes, las que explicaron el 58.27 % de la variación total. También se llevó a cabo un análisis de conglomerados para conocer el agrupamiento de las poblaciones evaluadas.

---

<sup>1</sup> División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, kilómetro 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas, Entronque Bosques de Saloya, Villahermosa, 86039, Tabasco, México;

<sup>2</sup> Universidad Agraria de la Habana, Cuba. guillermo\_corazon\_valiente@hotmail.com

## INTRODUCCIÓN

Se tiene aceptado que México es centro de origen y diversidad del género *Capsicum*, y que las especies *C. frutescens*, *C. pubescens* y *C. chinense*; se pueden hallar en menor grado (Latournerie *et al.*, 2002). Entre las hortalizas, el chile es la más cultivada en todo el mundo, ésta se utiliza como especia, como ingrediente en la preparación de alimentos y en la industria farmacéutica y cosmética (Andrews, 1995; Ruiz-Lau, Medina-Lara & Martínez-Estévez, 2011). En México existe amplia variabilidad fenotípica dentro de la especie *C. annuum* como colores, olores, formas y aromas, además tiene alta demanda por su valor nutrimental y beneficios económicos (Contreras-Toledo *et al.*, 2011).

Conocer la variación morfológica y los patrones de distribución geográfica de *Capsicum* es de mucho interés para poder comprender los patrones evolutivos de las especies vegetales (Ruiz-Lau *et al.*, 2011). Entre los factores abióticos que determinan la distribución de las especies de *Capsicum* se debe considerar el clima, la latitud y altitud. Al clima se le considera el factor principal en la distribución y variación de las especies vegetales, porque éste puede influir sobre la evolución, fisiología y reproducción, también puede provocar interacciones ecológicas que afectan a los recursos genéticos (Bran *et al.*, 2012).

El género *Capsicum* se originó en América, mucho antes de la llegada de los primeros pobladores a estas tierras (Walsh & Hoot, 2001). La familia de las Solanáceas agrupa a 84 géneros, entre ellos se encuentra el tomate (*Solanum lycopersicum* L.), la papa (*Solanum tuberosum* L.), el tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), la berenjena (*Solanum melongena* L.), el lulo (*Solanum quitoense* Lam.), la uvilla (*Physalis peruviana* L.) y otras plantas medicinales. Hoy día, el origen de *Capsicum* es incierto, sin embargo, Bosland & Votava (2012), señalaron que su centro de origen es la región árida de los Andes, de dónde se dispersó a las zonas tropicales y las tierras bajas de América.

En diversas investigaciones se menciona que el género *Capsicum*, es una fuente rica en antioxidantes C y E, así como de provitaminas, éstas se pueden encontrar en altas concentraciones y son una fuente de carotenoides y xantofilas con alto contenido de vitamina P (Citrina), B (Tiamina), Riboflavina y B3 (Niacina). Los pimientos (chiles verdes) presentan elevados contenidos de polifenoles y los de color rojo tienen altas concentraciones de vitaminas (Bosland & Votava, 2012; Muñoz *et al.*, 2013). Los objetivos fueron identificar la diversidad genética de poblaciones de *Capsicum* spp. con diferente origen geográfico, determinar la relación filogenética y caracterizar morfológicamente las poblaciones de *Capsicum* spp colectadas en comunidades de Tabasco y Chiapas, México. Las metas se enfocaron en conocer los tipos de chile silvestres y semisilvestres que se encuentran en las comunidades exploradas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El área de estudio fue de seis comunidades del estado de Tabasco y dos de Chiapas. Tabasco se localiza al norte 18° 39 '03", al sur 17° 15' 03" de latitud norte; al este 90° 59' 15", al oeste 94° 07' 48" de longitud oeste (INEGI, 2011) y tiene una superficie de 24738 km<sup>2</sup>. El estado de Tabasco tiene clima Cálido y subhúmedo, con fuertes lluvias en verano, la temperatura media anual es de 27°C (Ruíz-Álvarez *et al.*, 2012). El estado de Chiapas tiene una superficie de 3.74 % del territorio nacional, el 54 %, presenta clima Cálido húmedo, el 40 % clima Cálido subhúmedo, el 3 % Templado húmedo y el 3 % restante tiene clima Templado subhúmedo (INEGI, 2015).

Las mediciones de las variables en las poblaciones encontradas se realizaron de noviembre de 2015 a febrero de 2016. Los sitios explorados en Tabasco (Tabla 2) fueron: Vicente Guerrero (VG), Ejido Cerro Blanco (ECB), Miahuatlán (MI), El Porvenir (PV), Ranchería El Porvenir (RPV) y Corralillo Macuspana (CM). Las comunidades (Tabla 2) de Chiapas fueron Reforma (RE) y El Macayo (MA), que se encuentran en el Norte del estado. A las plantas (1 a 10) de cada población o colecta se le midieron 16 variables, para ello se utilizó el Manual de descriptores morfológicos para *Capsicum* (IPGRI-AVRDC -CATIE, 1995).

**Análisis estadístico.** Con la información obtenida en las poblaciones de Chile que se encontraron en cada localidad se realizó un análisis de componentes principales (ACP) y otro de Conglomerados UPGMA (método de grupo de pares no ponderados con media aritmética) (AC) estandarizando la información a  $\mu = 0$  y  $\sigma^2 = 1$ , con el propósito de que las variables medidas contribuyeran en la misma proporción (Lévy & Varela, 2003). Los análisis estadísticos (ACP y AC) se realizaron con el paquete SAS (Sistema de Análisis Estadístico V9.0, 2004). De los resultados obtenidos del primer ACP, se seleccionaron nueve variables de acuerdo con Pla (1986). Cinco de ellas son cualitativas (color de la hoja CH, forma de la hoja FH, margen del cáliz MC, forma del tallo FT, y forma del fruto FF) y cuatro cuantitativas (longitud del fruto LF, número de semillas por fruto NSF, altura de la planta AP, y diámetro del tallo DT). Con estas nueve variables, se realizó otro ACP.

## RESULTADOS

Los morfotipos colectados fueron Amashito, Pico de paloma, Garbanzo, Ojo de sapo, Ojo de cangrejo, Colmillo de lagarto y Corazón de pollo. El análisis de componentes principales (ACP) explicó 58.27 % de la variación morfológica total con los tres componentes principales (CP1, CP2 y CP3). De acuerdo con Kaiser (1960), los valores propios de estos CP resultaron significativos. El componente principal uno (CP1) (Tabla 1), mostró un valor propio de 2.02 y explicó el 22.5 % de la varianza total, y mostró que los vectores propios de las variables forma (FF) y longitud del fruto (LF), así como el número de semillas por fruto (NSF) y diámetro del tallo (DT) dieron resultados positivos y significativos, mientras que la forma del tallo resultó significativa, pero con un signo negativo. El CP2 (Componente principal 2) con un valor propio de 1.87 y 20.73 % de varianza explicada, sólo presentó valores altos para el color de la hoja (CH), la forma del fruto, la longitud del fruto y la forma del tallo (FT). El CP3 (Componente principal 3) dio un valor propio de 1.35 y contribuyó con 15.04 % a la explicación de la variación morfológica total. Este componente principal (CP3) presentó valores relevantes



asociados con las variables: forma de hoja (signo negativo), margen de cáliz y altura de la planta (signo positivo).

Tabla 1. Autovalores, autovectores y varianza explicada por cada componente principal en nueve caracteres de 29 colectas de *Capsicum* spp., de los estados de Tabasco y Chiapas.

Variables	CP1	CP2	CP3
Valor característico	2.0245 *	1.8654*	1.3539 *
Proporción de varianza global explicada	0.2250	0.20732073	0.1504
Varianza acumulada (%)	22.50	43.22	58.27
Variables		Vectores	
		Característicos	
Color de la hoja	0.1361	-0.5456*	0.0887
Forma de la hoja	-0.0582	0.1352	-0.4813*
Margen del Cáliz	-0.1689	-0.1961	0.6016*
Forma del fruto	0.3491*	0.3924*	-0.0623
Longitud del fruto (cm)	0.3441*	-0.4525*	-0.1360
Número de semillas por fruto	0.4732*	0.1662	-0.1247
Forma del tallo	-0.3340*	0.4030*	0.0753
Altura de la planta (cm)	0.2194	0.2932	0.5755*
Diámetro de tallo (cm)	0.5707*	0.1040	0.1541

\*Valores significativos (Kaiser, 1960).

La distribución de las colecciones de acuerdo con los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2) se presentan en la Figura 1. Nótese que, en el cuadrante I, se agruparon las poblaciones que presentaron los valores más altos de altura de la planta, diámetro del tallo y número de semillas por fruto, junto con la forma del fruto. En el cuadrante II se agruparon las variantes Pico de paloma, Corazón de pollo y dos tipos de Amashito (Blanco y Redondo). Las variables que más aportan a este grupo fueron: forma de hoja, margen de cáliz y forma de fruto. La mayoría de los tipos que son

Amashito, se ubicaron en el cuadrante III. Las variables involucradas para agrupar a las poblaciones en este cuadrante fueron: longitud del fruto, margen del cáliz, forma del tallo y forma de la hoja. Estas características facilitan la identificación a las variantes Amashito de los otros tipos de los chiles colectados. Las poblaciones que presentaron valor de menor promedio en las variables color de la hoja, margen de cáliz y longitud del fruto se agruparon en el cuadrante IV; para estas tres variables se pueden observar el Amashito y Garbanzo. Mientras que, para altura de la planta y el número de semillas por fruto, se encuentran Ojo de sapo y Pico de paloma (cuadrante IV).

Tabla 2. Sitio de colecta, nombre local y acrónimo de las poblaciones de chile de Tabasco y Chiapas, México.

Sitio de Colecta	Nombre local	Acrónimo
Ejido Cerro Blanco, Tacotalpa, Tabasco	Amashito	ECBA
Ejido Cerro Blanco, Tacotalpa, Tabasco	Ojo de Sapo	ECBOS
Ejido Cerro Blanco, Tacotalpa, Tabasco	Pico de Paloma	ECBPP
Vicente Guerrero, Teapa, Tabasco	Amashito Morado	VGAM
Vicente Guerrero, Teapa, Tabasco	Amashito	VGA
Miahuatlán, Cárdenas, Tabasco	Pico de Paloma	MIPP
Miahuatlán, Cárdenas, Tabasco	Amashito Blanco	MIAB
Miahuatlán, Cárdenas, Tabasco	Amashito Redondo	MIAR
Miahuatlán, Cárdenas, Tabasco	Amashito Manchado	MIAM
Miahuatlán, Cárdenas, Tabasco	Ojo de Cangrejo	MIOC
Ejido Corralillo, Macuspana, Tabasco	Colmillo de Lagarto	CRCL
Ejido Corralillo, Macuspana, Tabasco	Pico de Paloma Blanco	CRPPB
Ejido Corralillo, Macuspana, Tabasco	Pico de Paloma	CRPP
El Porvenir, Macuspana, Tabasco	Corazón de Pollo	PVCP
El Porvenir, Macuspana, Tabasco	Pico de Paloma	PVPP
El Porvenir, Macuspana, Tabasco	Amashito	PVAM
El Porvenir, Macuspana, Tabasco	Colmillo de Lagarto	PVCL
El Porvenir, Macuspana, Tabasco	Pico de Paloma Delgado	PVPPD

El Porvenir, Macuspana, Tabasco	Garbanzo Blanco	PVGB
Ranchería El Porvenir, Macuspana, Tabasco	Corazón de Pollo	RPVCP
Ranchería El Porvenir, Macuspana, Tabasco	Pico de Paloma	RPPP
El Macayo, Reforma, Chiapas	Amashito	MAA
El Macayo, Reforma, Chiapas	Garbanzo	MAG
El Macayo, Reforma, Chiapas	Amashito Grande	MAAG
El Macayo, Reforma, Chiapas	Pico de Paloma	MAPP
El Macayo, Reforma, Chiapas	Amashito Alargado	MAAA
Reforma, Chiapas	Amashito Bolita	REABo
Reforma, Chiapas	Pico de Paloma	REPP
Reforma, Chiapas	Amashito	REA

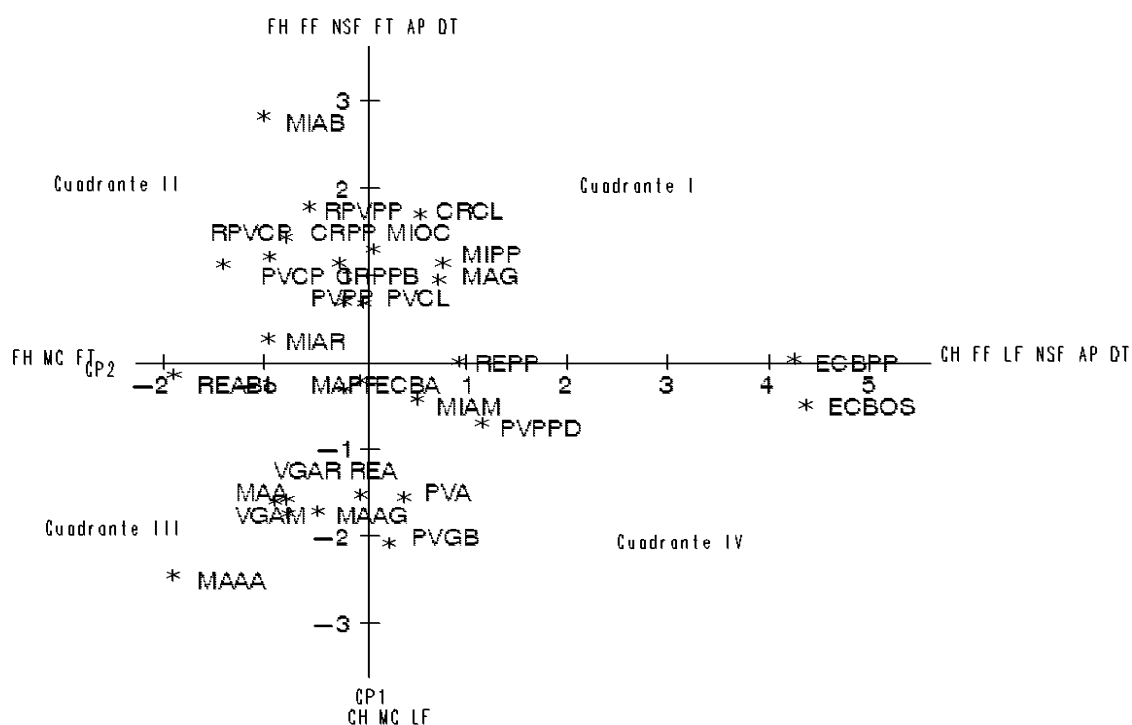


Figura 1. Distribución de las poblaciones de *Capsicum* spp. (Tabla 2) para los componentes principales 1 (CP1) y 2 (CP2) obtenidos con las nueve variables más importantes seleccionadas del primer análisis de componentes principales



colecciones: Garbanzo El Macayo (MAG) y Amashito manchado Miahuatlán (MIAM) y cuatro de Pico de paloma (Miahutlán Pico de Paloma MIPP, Macayo Pico de Paloma MAPP, El Porvenir Pico de Paloma PVPP, Reforma Pico de Paloma REPP). Las poblaciones Amashito redondo Miahuatán (MIAR), Ojo de cangrejo Miahuatán (MIOC) y Amashito Bolita Reforma (REABo), se juntaron en el Grupo 3 (G3). Las variables que superaron al promedio general de cada variable fueron: color de la hoja (CH), forma de la hoja (FH), margen del cáliz (MC) y diámetro del tallo (DT). En el grupo 4 (G4) se juntaron Corazón de pollo El Porvenir (PVCP), Pico de paloma Ranchería El Provenir (RPVPP) y Corazón de pollo Ranchería El Porvenir (RPVCP), se unieron a una distancia de 0.68; seis variables definieron este grupo (G4): color de la hoja (CH), forma de la hoja (FH), margen del cáliz (MC), número de semillas por fruto (NSF), altura de la planta (AP) y diámetro del tallo (DT). El grupo 5 se formó con el mayor número de accesiones (7). Este grupo se caracterizó por juntar a los tipos Amashito (Macayo Amashito MAA, Vicente Guerrero Amashito Manchado VGAM, Vicente Guerrero Amashito Redondo VGAR, Macayo Amashito Grande MAAG, El Porvenir Amashito PVA, Reforma Amashito REA) y Garbanzo Blanco (Porvenir Garbanzo Blanco PVGB); las variables que diferenciaron a este grupo fueron: color de la hoja (CH), forma de la hoja (FH), margen del cáliz (MC) y diámetro del tallo (DT). Los grupos 6 al 10 (excepto el grupo 9 formado por dos accesiones) son de una sola colección y los caracterizan las variables: altura de la planta (AP), diámetro del tallo (DT), forma de tallos (FT) y número de semillas por fruto (NSF).

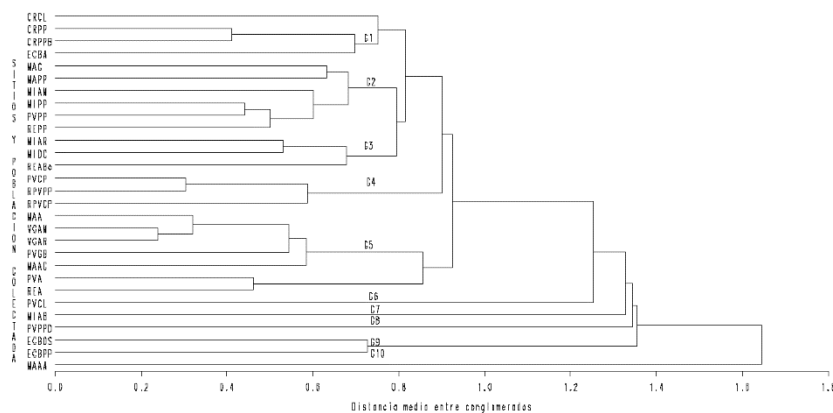


Figura 3. Dendrograma de agrupamiento de las poblaciones de *Capsicum* spp. (Tabla 2) evaluadas con las nueve variables significativas (cualitativas y cuantitativas).

## DISCUSIÓN

Las variables eliminadas por no hacer ninguna contribución en el primer análisis de componentes principales (ACP) fueron: el color del tallo (CT), el hábito de crecimiento de la planta (HCP), el hábito de ramificación (HR), la posición de la flor (PF), el color del fruto (CF), la forma del fruto (FF) y el número de flores por axila (NFA). Al realizar el segundo ACP la explicación de la variabilidad mejoró considerablemente. Sin embargo, no alcanzó el 80 % sugerido por Pla (1986) como un límite preestablecido para que el ACP explique la variabilidad del germoplasma que se está evaluando. Una posible explicación sobre por qué solo el 58.7 % de la variación fue explicada por los primeros tres componentes principales en la presente investigación puede ser que los morfotipos colectados en las localidades de estudio, algunos de ellos podrían ser cruza naturales, ya que las plantas de las poblaciones se encontraron creciendo cerca, también se han realizado estudios filogenéticos y se han observado nuevas variantes (Pérez-Castañeda *et al.*, 2015). Con respecto a lo anterior, Onus & Pickersgill (2004) mencionan que existe una incompatibilidad unilateral entre algunas especies de *Capsicum*, lo que significa que hay un cruce de una dirección, pero no en la dirección opuesta, como se ha observado con el "Pico de paloma" (Azurdía, 2014). Trabajando con Pico de paloma *Capsicum frutescens* L., De la Cruz *et al.* (2017) informaron que los primeros tres componentes principales explicaron el 37.43 % de la variabilidad presente en las poblaciones evaluadas. Por otro lado, en un estudio realizado en *Capsicum annum*, Alonso *et al.* (2008) encontraron que los primeros tres componentes principales explicaron 52.1 % de la variación morfológica total en el germoplasma evaluado. En su trabajo con chile guajillo, Moreno-Pérez *et al.* (2011) reportaron que el 58.0 % de la variación presente en las poblaciones evaluadas fue explicada por los primeros tres componentes principales. Barbosa, Mourão & Luz (2010), al estudiar cuatro características del fruto de chile, encontraron que los dos primeros componentes explicaron 94.36% de la variación total. Mientras que Pardey, García & Cabrera (2006) en su estudio con *Capsicum*, los cuatro primeros componentes explicaron el 73.0 % de la variación total. Sin embargo, la validez de los resultados del presente estudio se sustenta en lo propuesto por Trejos (2007), quien indica que, si los datos están

estandarizados, todos los componentes principales asociados a valores propios iguales o mayores a 1.0 deben tenerse en cuenta para explicar la variación, y eso fue lo que se hizo en esta investigación, es decir las variables se estandarizaron.

La distribución de colecciones basada en el análisis del componente principal de nuestra investigación muestra cierta similitud con lo reportado por Latournerie *et al.* (2002), quienes encontraron que la variable medida de *Capsicum* spp. que más contribuyó en cada componente principal fue la forma de la hoja (FH), tal como se encontró en nuestra investigación. Además, Barbosa *et al.* (2010) y Villota-Cerón *et al.* (2012) resaltaron que la longitud del fruto (LF) en el chile fue la característica más importante que explicó la variación morfológica en las poblaciones que evaluaron. Resultados similares fueron reportados por Hernández-Verdugo *et al.* (2006); Castañón-Nájera *et al.* (2008); Moreno-Pérez *et al.* (2011), Hernández-Verdugo *et al.* (2012); quienes indican que las especies silvestres se agruparon debido al diámetro del tallo (DT), altura de planta (AP), y número de semillas por fruto (NSF). Martínez-Sánchez *et al.* (2010) evaluaron poblaciones de chile en invernadero y registraron que las principales variables que participaron en la agrupación de ellas fueron: altura de la planta (AP) y longitud del fruto (LF), con promedios más altos en cada variable en comparación con lo encontrado en esta investigación.

## **CONCLUSIONES**

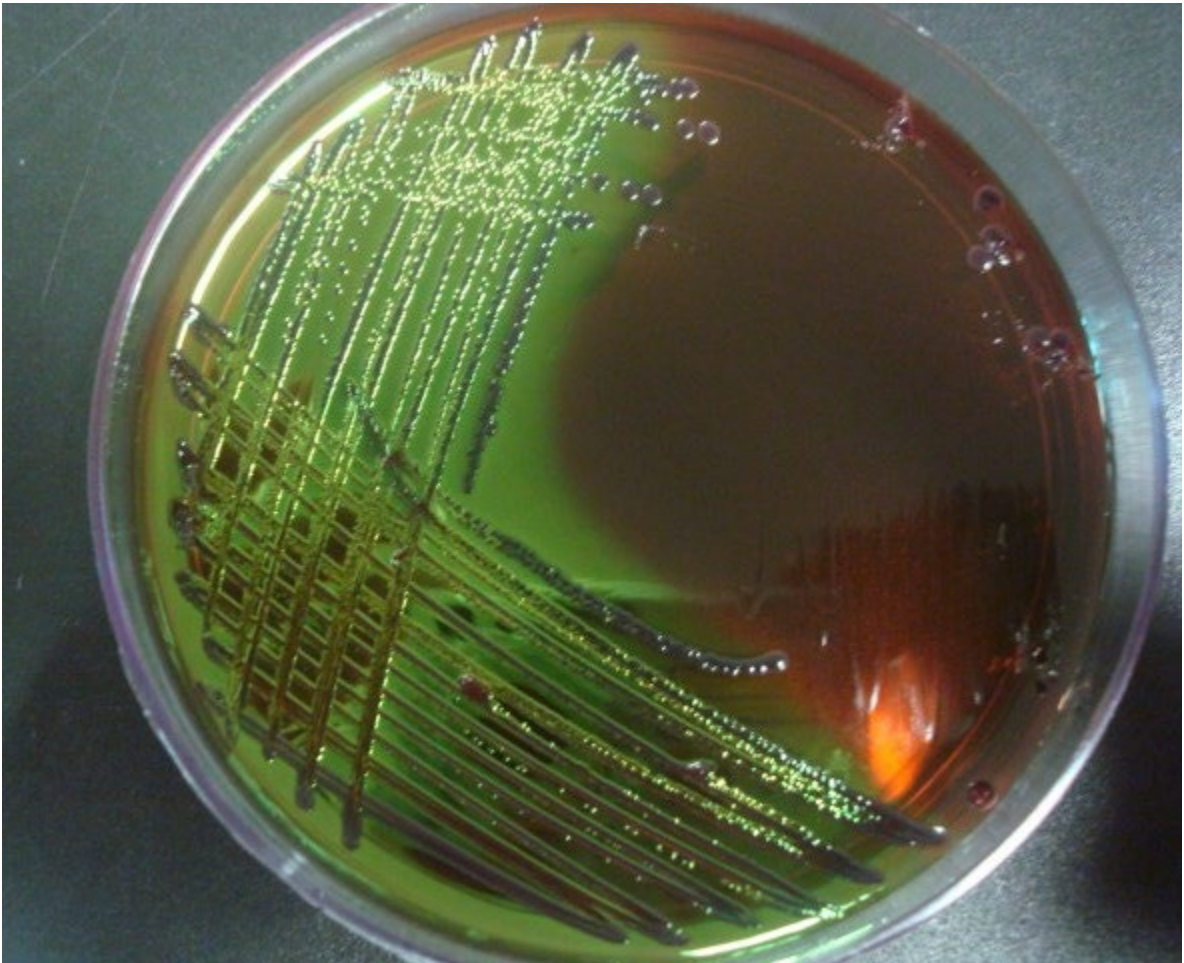
De las 29 colecciones de chile encontradas en los sitios de estudio, una de ellas es una nueva variante de Amashito, mientras que las variantes Ojo de sapo (OS) y Colmillo de lagarto (CL) se encontraron por primera vez en dos comunidades de Tabasco. En las comunidades de colecta del norte de Chiapas, sólo se colectaron dos poblaciones de Amashito. El análisis de componentes principales y el de conglomerados mostraron que la tendencia de agrupación de las colecciones fue de acuerdo con el tipo de especie, y luego por el sitio de colecta.

## REFERENCIAS

- Alonso, RA; Ponce, P; Quiroga, R; Rosales, MA; Zuart, JL; Moya, C & Cabrera, A (2008). Evaluación *in situ* de la variabilidad genética de los chiles silvestres (*Capsicum* spp.) en la región Frailesca del estado de Chiapas, México. *Cultivos Tropicales*, 29(2): 49-55.
- Andrews, J (1995). *Peppers: the domesticated Capsicum* (p. 186). Austin, USA: University of Texas Press.
- Azurdia, C. (2014). Cultivos nativos de Guatemala y Bioseguridad del uso de organismos vivos modificados. Chile (*Capsicum* spp.). Consejo Nacional de Áreas Protegidas. Documento técnico No. 7-2014. Consultado el 12 de agosto de 2016 en «<https://studylib.es/doc/7750957/chile--capsicum-spp.--cultivos-nativos-de-guatemala-y>».
- Barbosa, RI; Mourão MJr & Luz, FJDF (2010). Morphometric patterns and preferential uses of *Capsicum* peppers in the State of Roraima, Brazilian Amazonia. *Horticultura Brasileira*, 28(4): 477-482. DOI «<https://doi.org/10.1590/S0102-05362010000400017>»
- Bosland, PW & Votava, EJ (2012). *Pimientos: vegetales y especias pimientos* (Vol. 22). EE. UU: CABI Publishing. DOI «<https://doi.org/10.1079/9781845938253.0000>»
- Bran, RAA; Castillo, BZ; Madrigal, RQ; Esquinca, ÁR & Díaz, PP (2012). Caracterización morfológica y molecular de la variabilidad genética del timpinchile (*Capsicum annum* L. var. *glabriusculum* sin. *aviculare*) en Chiapas. *Quehacer Científico en Chiapas*, 1(13): 4-18.
- Castañón-Nájera, G; Latournerie-Moreno, L; Mendoza-Elos, M; Vargas-López, A & Cárdenas-Morales, H (2008). Colección y caracterización de chile (*Capsicum* spp.) en Tabasco, México. *Phyton*, 77: 189-202.
- Contreras-Toledo, AR; López-Sánchez, H; Santacruz-Varela, A; Valadez-Moctezuma, E; Aguilar-Rincón, VH; Corona-Torres, T & Antonio, LP (2011). Diversidad Genética en México de variedades nativas de chile 'poblano' mediante microsatélites. *Rev Fitotec Mex*, 34(4): 225-232.
- De la Cruz-Lázaro, E; Márquez-Quiroz, C; Osorio-Osorio, R; Preciado-Rangel, P & Márquez-Hernández, C (2017). Caracterización morfológica *in situ* de chile silvestre Pico de paloma (*Capsicum frutescens* L.) en Tabasco, México. *Acta Universitaria*, 27(2): 10-16.
- Hernández-Verdugo, S; Rodríguez, AG; Peña, PS; Casas, A & Oyama, K (2006). Estructura y diferenciación genética de poblaciones silvestres y domesticadas de chile del Noroeste de México analizada con isoenzimas y RAPDs. *Rev Fitotec Mex*, 29(Es2): 25-29.
- Hernández-Verdugo, S; Porras, F; Pacheco-Olvera, A; López-España, RG; Villarreal-Romero, M; Parra-Terraza, S & Osuna-Enciso, T (2012). Caracterización y variación ecogeográfica de poblaciones de chile (*Capsicum annum* var. *glabriusculum*) silvestre del noroeste de México. *Polibotánica*, (33): 175-191.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI] (2011). Consultado el 10 de julio de 2017, «<http://www.siget.tabasco.gob.mx/estadistica/anuarios/anuario2005/index.php>»
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI] (2015). Consultado en 18 de agosto de 2017, «<http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/chis/default.aspx?tema=me&e=07>»
- Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos; Centro Asiático para el Desarrollo y la Investigación Relativos a los Vegetales & Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza [IPGRI-AVRDC-CATIE] (1995). Descriptores para *Capsicum* (*Capsicum* spp.) (p. 48). Roma, Italia: Editorial Turrialba.
- Kaiser, HF (1960). La aplicación de computadoras electrónicas al análisis factorial. *Medida educativa y psicológica*, 20(1): 141-151.



- Latournerie, L; Chávez, JL; Pérez, M; Castañón, G; Rodríguez, SA; Arias, LM & Ramírez, P (2002). Valoración *in situ* de la diversidad morfológica de chiles (*Capsicum annuum* L. y *Capsicum chinense* Jacq.) en Yaxcabá, Yucatán. *Rev Fitotec Mex*, 25(1): 25-33.
- Lévy, MJP & Varela MMJ (2003). *Análisis multivariable para las ciencias sociales* (p. 896). Madrid, España: Pearson Educación, SA.
- Martínez-Sánchez, D; Pérez-Grajales, M; Rodríguez-Pérez, JE & Moreno-Pérez, EC (2010). Colecta y caracterización morfológica de 'chile de agua' (*Capsicum annuum* L.) en Oaxaca, México. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 16(3): 169-176.
- Moreno-Pérez, EC; Avendaño-Arrazate, CH; Mora-Aguilar, R; Cadena-Iñiguez, J; Aguilar-Rincón, VH & Aguirre-Medina, JF (2011). Diversidad morfológica en colectas de chile guajillo (*Capsicum annuum* L.) del centro-norte de México. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(1): 23-30.
- Muñoz, FEQ; Muñoz, ÁMR; Pérez, JAR & Santos, LEO (2013). Cambios en la Vitamina C y el Color durante la Cocción del Pimentón Verde (*Capsicum annuum* L.). *Tecnológicas*, (31): 141-150.
- Onus, AN & Pickersgill, B (2004). Unilateral incompatibility in *Capsicum* (*Solanaceae*): occurrence and taxonomic distribution. *Annals of botany*, 94(2): 289-295.
- Pardey, C; García, M & Cabrera, FAV (2006). Caracterización morfológica de cien introducciones de *Capsicum* del Banco de Germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. *Acta Agronómica*, 55(3): 1-10.
- Peréz-Castañeda, LM; Castañón-Nájera, G; Ramírez-Meraz, M & Mayek-Pérez, N (2015). Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum* spp. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 2(4): 117-128.
- Pla, E (1986). *Análisis Multivariado: Método de Componentes Principales* (p. 94). Washington, DC, EE. UU.: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos.
- Ruíz-Álvarez, O; Arteaga-Ramírez, R; Vázquez-Peña, MA; Ontiveros-Capurata, RE & López-López, R (2012). Balance hídrico y clasificación climática del estado de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 28(1): 1-14.
- Ruiz-Lau, N; Medina-Lara, F & Martínez-Estévez, M (2011). El chile habanero: su origen y usos. *Revista Ciencia*: 70-77.
- Trejos, ZJ (2007). Análisis multivariado de datos: San José, Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica. Consultado en «<https://correo.emate.ucr.ac.cr/~jtrejos/Libros/NotasAD.pdf>».
- Villota-Cerón, D; Bonilla-Betancourt, ML; Carmen-Carrillo, H; Jaramillo-Vásquez, J & García-Dávila, MA (2012). Caracterización morfológica de introducciones de *Capsicum* spp. Existentes en el Banco de Germoplasma activo de Corpoica CI Palmira, Colombia. *Acta Agronómica*, 61(1): 16-26.
- Walsh, BM & Hoot, SB (2001). Phylogenetic relationships of *Capsicum* (*Solanaceae*) using DNA sequences from two noncoding regions: the chloroplast atpB-rbcL spacer region and nuclear waxy introns. *International Journal of Plant Sciences*, 162(6): 1409-1418.



Fotografía: *Escherichia coli* aislada en agar de Eosina y azul de metileno. Lucero Vázquez Cruz

## CAPÍTULO 3

# CALIDAD BACTERIOLÓGICA EN FILETE DE PESCADO

Lucero Vázquez Cruz  
María de Lourdes Torres Pérez  
Rosa Martha Padrón López<sup>1</sup>

## RESUMEN

El pescado es una fuente importante de proteína animal en muchas partes del mundo. Se puede consumir en fresco o procesado. El procesado se puede realizar mediante congelación, salado, secado, ahumado o enlatado. Para determinar la calidad microbiológica del filete se utilizaron Coliformes Fecales e identificación de bacterias Gram negativas. Los Coliformes Fecales se cuantificaron por el método del Número Más Probable (NMP) de acuerdo con la NOM-242-SSA1-2009. La identificación de bacterias fue por api 20E y 20NE. Los resultados de Coliformes Fecales fueron de 93 a 1,100 NMP g<sup>-1</sup> y las bacterias aisladas fueron *Citrobacter freundii*, *Escherichia coli*, *Aeromonas hydrophila*, *Enterobacter cloacae*, *C. youngae* y *Salmonella* spp. Cuatro de las cinco muestras superaron a la norma Mexicana para Coliformes Fecales. En conclusión, el pescado que se vende en los supermercados muestreados no presenta buena calidad para su consumo crudo.

---

<sup>1</sup> División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, kilómetro 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas, Entronque Bosques de Saloya, Villahermosa, 86039, Tabasco, México.  
lulu2764@hotmail.com

## INTRODUCCIÓN

El pescado constituye una parte importante del consumo de proteína animal en muchas partes del mundo. A nivel mundial, alrededor de 100 millones de toneladas de peces se desembarcan anualmente, pero solo unos 70 millones de toneladas se utilizan como alimento humano directo (Huss, Reilly & Embarek, 2000). Aproximadamente el 27 % de esta cantidad se consume como pescado fresco, mientras que el resto se procesa utilizando casi todas las técnicas conocidas de conservación de los alimentos, como congelación, salados, secado, ahumado o enlatado (Huss, Reilly & Embarek, 2000).

El problema principal con el que se enfrenta la actividad pesquera es el manejo del producto. Las propiedades de estabilidad de anaquel que tiene la carne dependen de su composición química. En el caso del pescado, existe un número elevado de ácidos grasos insaturados, los cuales permiten la oxidación rápida de grasas, que repercuten en cambios de la calidad del pescado. La forma de preparar el pescado permite que se degraden ciertas proteínas en el producto lo que también repercute en su composición (Muñoz, 2006).

Los filetes de pescado son lonjas de carne de la misma especie, aptas para el consumo humano; de tamaño y forma irregular que se separan del cuerpo del pescado mediante cortes paralelos a la espina dorsal, así como los trozos en que se cortan dichas lonjas para facilitar el envasado (NTN-03-98, 1999). Estos filetes son susceptibles al deterioro que puede ser causado por reacciones químicas y crecimiento microbiológico (Gram & Dalgaard, 2002). Cerca del 25 % del producto pesquero pierde calidad, debido al deterioro químico y microbiano (Baird-Parker, 2000).

Los productos pesqueros, dependiendo de las condiciones de almacenamiento, representan un excelente medio para el crecimiento microbiano; aún en refrigeración, la vida útil del pescado es corta, debido al crecimiento de bacterias Gram negativas aerobias como *Pseudomonas* spp, *Shewanella putrefaciens* y *Aeromonas* spp (Suárez *et al.*, 2008). Estos microorganismos representan la causa principal del deterioro en productos cárnicos y pesqueros provocando acidez, decoloración, producción de gas, formación de baba y cambio de

pH (Contreras & Cardiles, 2013). El objetivo fue evaluar la calidad bacteriológica del filete de pescado en un supermercado de Villahermosa, Tabasco. Las metas fueron cuantificar bacterias de Coliformes Fecales en el filete de pescado, identificar bacterias en el filete de pescado y determinar la calidad bacteriológica del filete de pescado que se vende en el supermercado de acuerdo con las especificaciones sanitarias que establece la NOM-242-SSA1-2009 Productos y servicios.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

En un primer inicio se realizaron visitas a diferentes supermercados de la ciudad de Villahermosa, Tabasco, para verificar la comercialización del filete de pescado, seleccionando así, un supermercado en donde surten con más frecuencia este producto. Para la selección de las muestras se tomó en cuenta la fecha del empaquetamiento, de acuerdo con esto se analizaron un total de cinco muestras con diferentes fechas de empaquetamiento. Los filetes adquiridos del supermercado se preservaron en una nevera a 4 °C para poder transportarlos al laboratorio para su análisis.

Para la cuantificación de bacterias de Coliformes Fecales (CF), se utilizó la técnica de tubos múltiples o Número Más Probable (NMP) de acuerdo con la NOM-242-SSA1-2009 Productos y Servicios. La identificación de bacterias se realizó transfiriendo un inóculo de aquellos tubos positivos de la cuantificación de CF a Agar Eosina Azul de metileno (EAM), Soya Trypticaseina (ST), Salmonella y Shigella (SS); después las unidades formadoras de colonias se caracterizaron morfológicamente y se identificaron a través del Sistema de identificación de Enterobactereaceae y otros bacilos Gram negativos, api 20E y api 20NE, de la marca Biomerieux.

## **RESULTADOS**

**Coliformes Fecales.** Las muestras de filetes de pescado analizadas presentaron valores de 93 a 1,100 NMP g<sup>-1</sup> de CF. La muestra tres con fecha del 19 de mayo de 2016, presentó valores altos de CF (1,100 NMP g<sup>-1</sup>) y la de

menor valor de CF fue la muestra cinco con fecha del día 30 de junio del 2016 (Figura. 1).

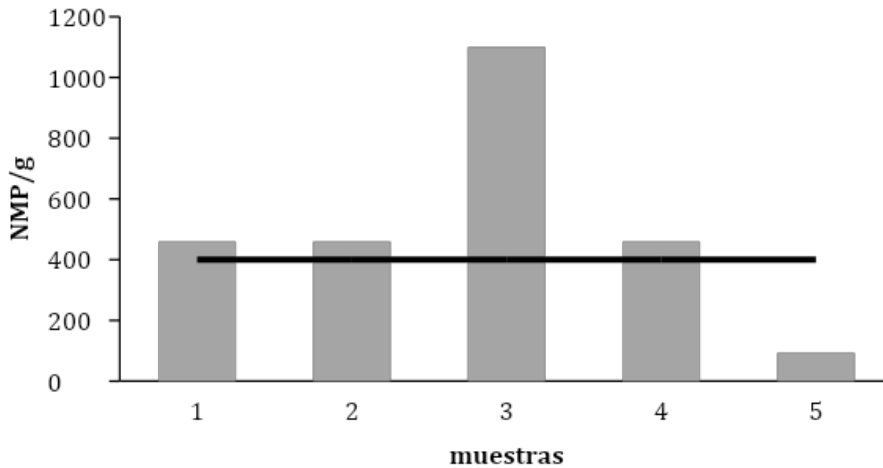


Figura 1. Resultados obtenidos en filete de pescado de Coliformes Fecales (CF) según el Número Más Probable reportado por gramo de muestra. Límite permisible de CF: 400 NMP/g de acuerdo con la NOM-242-SSA1.

**Aislamiento bacteriano.** En cuanto al aislamiento de bacterias en las muestras de filete se aisló un total de 13 cepas bacterianas, caracterizadas morfológica y bioquímicamente (Winn *et al.*, 2006; Madigan *et al.*, 2009), identificando a seis especies diferentes de bacterias. Las bacterias de mayor frecuencia fueron *Citrobacter freundii* (4 cepas), *Escherichia coli* (3 cepas), *Aeromonas hydrophila* (3 cepas); y las de menor frecuencia *Enterobacter cloacae* (una cepa), *C. youngae* (una cepa) y *Salmonella* spp (una cepa).

## DISCUSIÓN

En este trabajo se observó que, de las cinco muestras de filete de pescado analizadas, sólo una muestra mantuvo valores por debajo de los 400 NMP g<sup>-1</sup> de CF que establece la NOM-242-SSA1-2009 como límite permisible en muestras de pescado. Los valores estimados en el presente estudio superaron los reportados por Iriarte & Valle (2006), quienes reportaron CF de 4 a 101 NMP g<sup>-1</sup> en muestras de

Filete volador (*Dactylopterus volitans*); Suárez *et al.* (2009) determinaron concentraciones de 18 a 413 NMP g<sup>-1</sup> de CF en filetes de Cachama.

La presencia de Coliformes Fecales en los filetes de pescado es un indicador de contaminación fecal o de un mal manejo de estos, así, como el uso de temperaturas incorrectas durante la elaboración del producto (Sánchez, Pardo & Cortes, 2008).

En cuanto al aislamiento de bacterias en las muestras de filetes de pescado estudiadas, se observó que el 77 % lo integra la familia Enterobacteriaceae y el 23 % restante a Vibronaceae.

Dentro de la familia Enterobacteriaceae se encontró a *E. coli* que es una bacteria alóctona, la cual es introducida a los cuerpos de agua por actividades agrícolas, descargas de aguas negras de animales domésticos y silvestres. Esta a su vez, tiene un significado especial desde el punto de vista sanitario, ya que su recuperación a partir de alimentos implica que otros microorganismos de origen fecal, incluyendo patógenos, puedan estar presentes. Actualmente se reconoce la existencia de especies patógenas que causan diferentes síntomas diarreicos. Las cepas de *E. coli* productoras de diarrea, que han sido asociadas con enfermedades transmitidas por alimentos, han sido clasificadas en cinco categorías: enterotoxigénica, enteroinvasiva, enteroagregativa, enterohemorrágica y enteropatógena (Winn *et al.*, 2006). Por lo tanto, si no hay un buen manejo del producto o instalaciones idóneas, estará en riesgo, proliferando microorganismos patógenos o no patógenos, que podrían poner en riesgo al consumidor si este es ingerido en crudo o semicocido.

## CONCLUSIONES

De los cinco filetes adquiridos en el supermercado, en cuatro de ellos se encontraron valores altos de Coliformes Fecales. Se identificaron 13 cepas bacterianas, de las cuales 77 % corresponden a la familia Enterobacteriaceae y el 23 % a Vibronaceae.

De acuerdo con los resultados encontrados en la presente investigación se puede concluir que los filetes de pescado analizados no son aptos para consumirse crudos ya que mostraron concentraciones altas de Coliformes Fecales. Por lo tanto, se sugiere que para el consumo del filete de pescado se les realice tratamiento térmico, con el fin de garantizar la muerte de las bacterias patógenas.

## REFERENCIAS

- Baird-Parker, TC (2000). The production of microbiologically safe stable foods. En Lund BM, Baird-Parker, TC & Gould GW (Eds). The microbiological safety and quality of food (p. 2080). Gaithersburg: Aspen Publishers.
- Contreras, TO & Cardiles, GC (2013). Evaluación de la calidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial de filetes de Tilapia (*Oreochromis niloticus*) marinados en frío (4 °C) (Tesis de Ingeniería en alimentos). Universidad de Cartagena Facultad de Ingenierías. Cartagena, Colombia.
- Diario Oficial de la Federación [DOF] & Secretaría de Salud [(SSA] (2009). Norma Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009. Productos y Servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesado. Especificaciones sanitarias y método de prueba. México; 2011. Disponible en «<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ssa1/ssa1242modnum-1211.pdf>»
- Gram, L & Dalgaard, P (2002). Fish spoilage bacteria problems and solutions. *Rev. Current Opinion in Biotechnology* 13(3): 262–266.
- Huss, HH; Reilly, A & Embarek, PK (2000). Prevention and control of hazards in seafood. *Food Control* 11(2): 149–156.
- Iriarte, RMM & Valle, RGG (2006). Efecto del tiempo de almacenamiento a -18 °C sobre las características bacteriológicas y físico-químicas de filetes de pez volador (*Dactylopterus volitans*). *Rev. Científica Maracaibo* 16(2): 195-201.
- Madigan, MT; Martinko, JM; Dunlap, PV & Clarck, DP (2009). Brock, Biología de los microorganismos (12<sup>ta</sup> ed., p. 1296). Madrid, España: Pearson Educación S.A.
- Muñoz, LE (2006). Evaluación en el tiempo de cambios físicos, microbiológicos y sensoriales de tres tipos de marinados en tilapia (*Oreochromis* spp) (Tesis de Licenciatura en Ingeniero Agroindustrial). Escuela Agrícola Panamericana “El Zamorano”. Honduras.
- Norma Jurídica de Nicaragua [NTN-03-98] (1999). Norma General Del Codex Para el Filete de Pescado Congelado Rápidamente. *Gaceta No. 11*. Nicaragua. Disponible en: «[http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/\(\\$All\)/57312BA9919A43C2062570A10057F7F2?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/($All)/57312BA9919A43C2062570A10057F7F2?OpenDocument)»



- Suárez, MH; Pardo, CSC & Cortes, RM (2008). Calidad físico-química y atributos sensoriales de filetes sajados biopreservados de cachama, empacados al vacío bajo refrigeración. *Rev. Colomb Cienc Pecu* 21(3): 330-339 p.
- Suárez, MH; Pardo, CSC; Cortés RM; Ricaurte SC & Rojano B (2009). Evaluación de nueva tecnología para mitigar las espinas intramusculares en filetes de Cachama *Piaractus brachypomus* (Pisces: Characidae). *Rev Fac Nat Agr Medellin* 62(1): 4989-4997 p.
- Winn, WC; Allen, SD; Janda, WW; Koneman, EW; Procop, GW; Schreckenberger, PC & Woods, GL (2006). *Koneman Diagnóstico microbiológico Texto y Atlas en color* (6<sup>ta</sup> ed., p. 1696). Buenos Aires, Argentina: Panamericana.



**Fotografía:** Filete de pescado. Lucero Vázquez Cruz

## **CAPÍTULO 4**

# PSEUDOMONAS AERUGINOSA: PATÓGENO OPORTUNISTA CON POTENCIAL DE BIODEGRADAR POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD

Jenestey Alexis García García  
Rosa Martha Padrón López  
Lucero Vázquez Cruz  
María de Lourdes Torres Pérez<sup>1</sup>

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue identificar bacterias que degradan el polietileno de baja densidad, obteniéndose una mayor representación de la especie *Pseudomonas aeruginosa*. La bacteria *Pseudomonas aeruginosa* fue aislada de muestras recolectadas de un relleno sanitario ubicado en Teapa, Tabasco. Para el diseño experimental se utilizaron dos fases, una de adaptación y otra de degradación. Para la primera fase se utilizaron bacterias aisladas suspendidas en matraces con Medio de Sales Minerales) y Polietileno de Baja Densidad adicionado con 2 ml de peptona alcalina al 1 % por 30 días en agitación constante para un óptimo crecimiento y biodegradación, para la segunda fase se utilizaron las mismas condiciones que la fase anterior sin adición de peptona alcalina, se usó solo el Polietileno de Baja Densidad como fuente de carbono y energía, por un periodo de 60 días para cada tratamiento. Dicha especie mostró un crecimiento de 21,500.000 UFC ml<sup>-1</sup> y 4.33 % para el índice de biodegradación.

---

<sup>1</sup> División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, kilómetro 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas, Entronque Bosques de Saloya, Villahermosa, 86039, Tabasco, México.  
lucerovc@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

*Pseudomonas aeruginosa* es un patógeno oportunista de importancia clínica, se reporta en infecciones como fibrosis quística, leucemia aguda, trasplante de órgano, infecciones en oído, entre otras. Sin embargo, actualmente existen números artículos que la caracterizan como degradadora de diferentes compuestos orgánicos, siendo excelente miembro en los procesos de biorremediación (Winn *et al.*, 2008). La biorremediación se considera hoy en día una alternativa práctica y sustentable, según van Deuren *et al.* (1997), la biorremediación es un término utilizado para definir la gran variedad de sistemas que, empleando organismos vivos (de las cuales pueden ser plantas, hongos, bacterias, entre otros, pero no necesariamente se limita a ellos), degradan, transforman o remueven compuestos orgánicos que pueden ser tóxicos a productos metabólicos inofensivos o menos tóxicos. Para el cual *P. aeruginosa* es una especie que ha presentado una amplia versatilidad para degradar diversos compuestos orgánicos e inorgánicos como 17  $\alpha$ -metiltestosterona, hidrocarburos y ampliamente utilizados en la remoción de metales pesados como el cadmio y plomo (Vázquez, 2011; Giraldo, Gutiérrez & Merino, 2014; Igiri *et al.*, 2018).

Uno de los polímeros más utilizados a nivel mundial es el polietileno, conocido por ser persistente y con una degradación poco eficiente, su importancia industrial lleva a la necesidad de entender el proceso de degradación y el deterioro de estos desechos plásticos. Su acumulación en el medio ambiente se constituye por sí solo en una preocupación (Restrepo, Bassi & Thompson, 2014). Por lo que la búsqueda de nuevos organismos que se encarguen de esta tarea (degradación) es de mucha importancia, así como el conocer las fases de la biodegradación, para poder elaborar una metodología adecuada en la biodegradación plástica. La biodegradación de polímeros generalmente se presenta en tres etapas: la colonización, fragmentación y la asimilación (Lucas *et al.*, 2008). Por lo tanto, este estudio se enfocó en la búsqueda de bacterias con potencial de biodegradar polietileno, estas bacterias provenían de suelo de un relleno sanitario del municipio de Teapa, Tabasco. El objetivo fue caracterizar bacterias capaces de degradar el polietileno de baja densidad (PEBD) como única fuente de carbono y energía, a partir de cepas aisladas

en suelo de un relleno sanitario ubicado en el municipio de Teapa, Tabasco. Las metas fueron reportar bacterias con potencial de biodegradar el PEBD, como única fuente de carbono y energía en medio MSM, a partir de muestras de suelo del relleno sanitario de Teapa, Tabasco.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Obtención de las cepas.** El experimento se realizó con 14 cepas de *Pseudomonas aeruginosa* aisladas en el relleno sanitario regional Teapa-Tacotalpa. Las cepas fueron conservadas en el Laboratorio de Microbiología de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

**Fase de adaptación.** El experimento se realizó con una sola especie bacteriana por cada tratamiento y por duplicado. Se realizó una fase de adaptación y una de degradación. Con el uso de la metodología modificada de Gutiérrez (2013), se realizó un experimento, con las cepas obtenidas en la fase anterior. Se realizó una turbidez según el tubo 5 de la escala de Mcfarland ( $1.5 \times 10^9$  UFC ml<sup>-1</sup>), con la ayuda de un hisopo estéril, a partir de un cultivo de 24 h en agar Soya Trypticaseína, las colonias fueron transferidas a un tubo de ensayo con 9 ml de peptona alcalina al 1 % hasta obtener la turbidez 5. Posteriormente, se inocularon 2 ml de esta solución, en matraces Erlenmeyer con 100 ml de MSM suplementado con 0.02 ml de peptona y 300 mg de PEBD. Los matraces con la solución se mantuvieron en agitación constante a 120 rpm con una temperatura de 35 °C por 30 días.

**Fase de degradación.** A partir de los matraces de la fase anterior se inocularon 5 ml en un nuevo matraz con 100 ml de MSM y 300 mg de raspadura de PEBD, obtenidos de bolsas de primer uso, como única fuente de carbono y energía. Este nuevo medio inoculado de igual manera se mantuvo en agitación constante a 120 rpm con una temperatura de 35 °C por 60 días (Gutiérrez, 2013).

Una vez cumplido los 60 días del experimento, se procedió a tomar muestras de los matraces para realizar el conteo de Unidad Formadora de Colonia (UFC) y el peso del plástico. Como primera fase, se empleó el método de cuenta viable. Se incubaron de 24 a 48 h según fue el crecimiento. Para pesar el plástico, después de tomar la muestra anterior, se utilizó una bomba de vacío y un filtro de membrana nitrocelulosa Millipore, se filtró el contenido del matraz para obtener únicamente el PEBD. Se aplicaron 3 lavados, un lavado con agua destilada por 5 minutos, un lavado con hipoclorito de sodio al 10 % por 10 minutos y un último lavado con alcohol etílico de 70 ° por 10 minutos. Posteriormente, el PEBD se introdujo en un horno Riossa a 50 °C por 24 h.

El peso perdido se estimó con la siguiente fórmula:

$$P_p = P_0 - P_1$$

Dónde:

P<sub>0</sub> = Peso inicial

P<sub>1</sub> = Peso final

P<sub>p</sub> = Peso perdido

El índice de biodegradación (IB) modificada por Uribe *et al.* (2010) se calculó con la fórmula:

$$IB = (P_p / P_0) \times 100$$

## RESULTADOS

En la Figura 1 se presentan los resultados obtenidos de las UFC ml<sup>-1</sup> y el IB de los diferentes tratamientos, durante la fase de degradación. Los tratamientos con valores altos en crecimiento fueron: Pa18, Pa17 y Pa14 (21,500,000; 14,400,000 y 8,170,000 UFC ml<sup>-1</sup>). Los valores medios fueron los tratamientos: Pa11, Pa10, Pa09, Pa08, Pa07 y Pa06 (6,200,000; 5,700,000; 5,500,000; 5,500,000; 5,300,000 y 4,800,000 UFC ml<sup>-1</sup>, respectivamente). Por último, los tratamientos con valores bajos fueron: Pa05, Pa04, Pa03, Pa02 y Pa01 (2,480,000; 2,080,000; 1,700,000; 1,390,000 y 88,000 UFC ml<sup>-1</sup>).

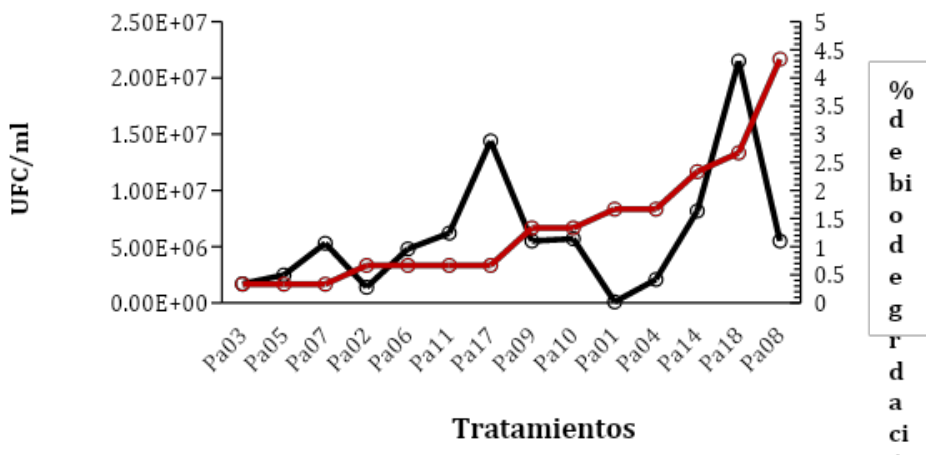


Figura 1. Valores obtenidos del índice de biodegradación y cinética de crecimiento, en 14 cepas de *Pseudomonas aeruginosa* (Pa). Los datos corresponden a valores promedios por duplicados por cada tratamiento.

Con base a los resultados obtenidos del IB, según la fórmula descrita en la metodología. Se observó que los tratamientos que presentaron un mayor IB fueron: Pa08, Pa18, Pa14 y Pa01 (4.33, 2.67, 2.33 y 1.67 %). Los valores medios fueron: P04, P10, P09, Pa06, Pa17 y Pa02 (1.67, 1.33, 1.33, 0.67, 0.67 y 0.67 %). Finalmente, los tratamientos con los valores más bajos fueron: Pa11, Pa07, Pa03 y Pa05 (0.67, 0.33, 0.33 y 0.33 %).

## DISCUSIÓN

La versatilidad de *P. aeruginosa* para adaptarse a diferentes sustratos orgánicos, está regulada por la expresión de ciertos genes, localizados en su genoma bacteriano. El 8.4 % de su carga genética está relacionada con la regulación (cepa PAO1). Presentan una gran cantidad de sistemas de trasportes de membrana (alrededor de 300), la cual le permite captar y metabolizar diferentes sustratos, posee también extensas rutas metabólicas de oxidación, como la  $\beta$ -oxidación (Vanegas & Jiménez, 2013). Además de las ventajas que adquiere en las mutaciones, *P. aeruginosa* puede adquirir material extra cromosómico a través de los plásmidos,

generalmente mediante la conjugación (Moradali, Ghods & Rehm, 2017), convirtiéndose en una de las especies degradadoras por excelencia.

También se ha aprovechado en la producción de biosurfactantes, uno de ellos son los ramnolípidos, por sus capacidades emulsificantes hacia los hidrocarburos y ampliamente utilizados en la remoción de metales pesados como el cadmio y plomo, los cuales presentaron buena actividad de emulsión (0.5343 Unidades de Actividad Emulsificante por mililitro) y remociones en estos metales pesados del 98 y 99 %, respectivamente (Giraldo *et al.*, 2014; Igiri *et al.*, 2018). Además, puede degradar otros compuestos como el 17  $\alpha$ -metilttestosterona (Vázquez, 2011).

En esta investigación se realizaron tratamientos con 14 cepas identificadas como *P. aeruginosa*, de las cuales, solo siete cepas presentaron mejor porcentaje de remoción en MSM suplementado con PEBD, como única fuente de carbono y energía. Estos resultados pueden deberse a que, contienen carga genética diferente, demostrando la diversidad genética de cada una de ellas, y por lo tanto los porcentajes de biodegradación son diferentes (Moradali *et al.*, 2017). Esta variabilidad también se ha reportado por Kyaw *et al.* (2012) con porcentajes de 20 y 11 % (PAO1 B1 y ATCC B2), cada cepa de *P. aeruginosa* presentaba características fenotípicas diferentes, concluyendo que los porcentajes varían debido a la carga genética diferente.

Los resultados de esta investigación se asemejan a los obtenidos por Uribe *et al.* (2010), sin embargo, utilizaron consorcios bacterianos. Los porcentajes de reducción fueron del 5.5 %, similar a lo obtenido en esta investigación por *P. aeruginosa* (4.3 %). Como se mencionó en párrafos anteriores *P. aeruginosa* cuenta con una variabilidad y mutagenicidad muy amplia lo que le confiere la capacidad para adaptarse a diferentes sustratos orgánicos como única fuente de carbono y energía.

## CONCLUSIONES

Los índices de biodegradación son valores bajos, pero coinciden con los reportados por otros autores. Por la versatilidad que tiene *P. aeruginosa* de degradar diversos compuestos orgánicos, pudiera ser una candidata para la degradación de plásticos.



## REFERENCIAS

- Giraldo, JD; Gutiérrez, S & Merino, F (2014). Actividad emulsificante y de remoción de metales pesados del ramnolípido producido por *Pseudomonas aeruginosa* PB 25. *Rev. Soc. Quím. Perú*, 80(1): 35-44. Recuperado de: «[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2014000100005](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2014000100005)»
- Gutiérrez, JG (2013). Biodegradación de polietileno de baja densidad por consorcio microbiano (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Igiri, BE; Okoduwa, S; Idoko, GO; Akabuogu, EP; Adeyi, AO & Ejiogu, IK (2018). Toxicity and Bioremediation of Heavy Metals Contaminated Ecosystem from Tannery Wastewater: A Review. *Journal of Toxicology*, (2018), 2568038. DOI «<https://doi.org/10.1155/2018/2568038>»
- Kyaw, BM; Champakalakshmi, R; Sakharkar, MK; Lim, CS & Sakharkar, KR (2012). Biodegradation of low-density polythene (LDPE) by *Pseudomonas* species. *Indian Journal of Microbiology*, 52(3), 411–419. DOI «<https://doi.org/10.1007 / s12088-012-0250-6>»
- Lucas, N; Bienaime, C; Belloy, C; Queneudec, M; Silvestre, F & Nava, J (2008). Polymer biodegradation: Mechanisms and estimation techniques. *Chemosphere*, 73(2008), 429-442. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.06.0>»
- Moradali, MF; Ghods, S & Rehm, BH (2017). *Pseudomonas aeruginosa* Lifestyle: A Paradigm for Adaptation, Survival, and Persistence. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, (7)39. DOI «<https://doi.org/10.3389/fcimb.2017.00039>»
- Restrepo, J; Bassi, A & Thompson, M (2014). Microbial degradation and deterioration of polyethylene. *Int Biodeterior Biodegrad* 88 (2014) 83-90. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.12.014> »
- Uribe, D; Giraldo, D; Gutiérrez, S & Merino, F (2010). Biodegradación de polietileno de baja densidad por acción de un consorcio microbiano aislado de un relleno sanitario, Lima, Perú. *Rev Peru Biol*, 17(1): 133-136.
- Van Deuren, J; Wang, Z & Ledbetter, J (1997). Remediation technologies screening matrix and reference Guide. 3ª Ed. Technology Innovation Office. EPA. Recuperado en: «<http://www.epa.gov/tio/remed.htm>»
- Vanegas, JM & Jiménez, JN (2013). Principales características de la genética bacteriana de *Pseudomonas aeruginosa* que contribuyen con su patogénesis y resistencia. *Hechos Microbiol*, 4(2), 98-105. Recuperado de «[http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/10525/1/VanegasJohanna\\_2013\\_GeneticaBacterianaPseudomonas.pdf](http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/10525/1/VanegasJohanna_2013_GeneticaBacterianaPseudomonas.pdf) »
- Vázquez, L (2011). Aislamiento y caracterización de bacterias capaces de degradar 17  $\alpha$  - metiltestosterona a partir de biopelícula de filtros biológicos de un sistema de masculinización de tilapia (*Oreochromis niloticus*) (Tesis de Maestría en Ciencias). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Tabasco, México.
- Winn, C; Allen, SD; Janda, WM; Koneman, EW; Procop, GW; Schreckenberger, PC & Woods, GL (2008). *Koneman Diagnóstico microbiológico Texto y Atlas en color* (p. 1691). Buenos Aires, Argentina: Médica Panamericana.



**Fotografía:** Instalaciones del Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos DACBIOL 2019.

José Ramón Laines Canepa

# **CAPÍTULO 5**

---

# Beneficios ambientales del aprovechamiento de subproductos del Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos DACBiol

Israel Ávila Lázaro  
José Ramón Laines Canepa  
José Aurelio Sosa-Olivier<sup>1</sup>

## RESUMEN

La producción mundial de residuos sólidos urbanos se ha calculado en alrededor de 1,300 millones de toneladas diarias y se estima que podría crecer hasta los 2,200 millones en el 2025. En México en el 2015, la generación de residuos sólidos urbanos alcanzó 53.1 millones de toneladas. En este ámbito, las universidades y colegios son requeridos por los organismos estatales e internacionales para adoptar estrategias de desarrollo en todas sus operaciones para tener un impacto positivo en los aspectos socioeconómicos y ambientales. En la División Académica de Ciencias Biológicas-Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, dentro de sus actividades, se generan residuos con características domiciliarias que por su cantidad se consideran de Manejo Especial. Los residuos son recolectados y transportados al Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos, y en este lugar, se separan los valorizables y no valorizables. De acuerdo con los datos de la bitácora del Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos del año 2018 se generó un total de 24.53 t de residuos, con 2,500 personas aproximadamente, de los cuales 4.30 t (17.52 %) fueron recuperados y 20.23 t (82.4 %) se enviaron a Disposición Final. De lo recuperado, se estimaron 13 beneficios, del cual un beneficio fue un ahorro de 437,130 L de agua.

---

<sup>1</sup> División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, kilómetro 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas, Entronque Bosques de Saloya, Villahermosa, 86039, Tabasco, México.  
ing.avilaisrael@yahoo.com.mx

## INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de los residuos orgánicos e inorgánicos cobra cada día mayor importancia como medio eficiente de nutrientes y materias primas, respectivamente. En algunos casos, estos residuos tienen alguna aplicación, pero en la mayoría de los casos no son reutilizados, sino simplemente quemados o dispuestos a tiraderos, ríos, lagos y océanos sin ningún tratamiento previo; todo esto genera un impacto negativo al ambiente (López-Méndez *et al.*, 2013). De acuerdo con la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] (2013), la producción mundial de residuos sólidos urbanos (RSU) se calculó en alrededor de 1,300 millones de toneladas diarias y se estima que podría crecer hasta los 2,200 millones en el 2025. En el 2010, cerca del 44 % de RSU producidos en el planeta correspondieron a los países con las economías más desarrolladas. En México para el 2015, la generación de RSU alcanzó 53.1 millones de toneladas, lo que representó un aumento del 61.2 % con respecto al 2003 (SEMARNAT, 2013). Por esto, una misión de muchas universidades es originar la idea de sustentabilidad entre estudiantes, profesores y la sociedad (Cortese, 2003). Hoy en día, las universidades pueden ser consideradas pequeñas ciudades, ya que tienen varias facultades y edificios donde el consumo de energía, agua, papel y otros recursos como cafeterías, limpieza y servicios de fotocopias son importantes. Además, generan varios impactos directos e indirectos sobre el medio ambiente (Capdevila, 1999). En cualquier caso, estos impactos podrían minimizarse aplicando medidas técnicas y organizativas apropiadas (Alshuwaikhat & Abubakar, 2008).

Uno de los mejores desafíos para el desarrollo sostenible es contar con un sistema integrado de gestión de residuos. Es aquí donde las universidades y colegios son requeridos por los organismos estatales e internacionales para adoptar estrategias de desarrollo en todas sus operaciones para tener un impacto positivo en los aspectos socioeconómicos y ambientales. Armijo de Vega, Ojeda Benítez, & Ramírez Barreto (2008) identificaron la caracterización de residuos como el primer paso para una política de gestión de residuos exitosa, para estimar la recuperación

potencial de materiales, detectar fuentes de generación de componentes, facilitar el diseño de equipos de procesamiento, estimar las propiedades físicas, químicas y térmicas de los residuos, y mantener el cumplimiento de las regulaciones. La composición de los residuos generados varía como resultado de la variación estacional, el estilo de vida, la demografía, la legislación geográfica y la legislación local impactadas (Hockett, Lober, & Pilgrim, 1995; Irwan, Basri, & Watanabe, 2012).

En la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología), dentro de sus actividades, se generan residuos con características domiciliarias que por su cantidad se consideran de manejo especial: Las fuentes de generación son las aulas, laboratorios, plantas piloto, biblioteca, gimnasio, áreas deportivas, auditorios, áreas administrativas, sala de maestros, oficinas, baños y cafeterías. Los residuos son recolectados y transportados al Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos (CATRE). En este lugar, se separan los valorizables, que se envían a los centros de acopio para su posterior reciclamiento. El papel y cartón se reutilizan y los orgánicos son tratados a través de procesos biológicos como el compostaje, vermicompostaje y digestión anaerobia. Los residuos no valorizables, son recolectados por el Sistema de Aseo Urbano del Municipio de Centro, para su disposición final en el sitio de residuos sólidos urbanos y de manejo especial como lo especifica la NOM 083-SEMARNAT-2003. El presente trabajo tiene como objetivo estimar el potencial de aprovechamiento de subproductos orgánicos e inorgánicos acopiados en el Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos DACBiología con base en los beneficios ambientales en el proceso de reciclaje de los residuos sólidos acopiados. Para esto, se necesitó buscar y comprobar tales beneficios en bibliografía, como ahorro de: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, tala de árboles, barriles de petróleo como materia prima, entre otros. De igual manera se incluyeron datos de la Asociación Civil Ecología y Compromiso Empresarial (ECOCE A.C.) y se trabajó con los datos obtenidos del CATRE del año 2018, donde se valorizan el Polietileno tereftalato (PET), Materia Orgánica Vegetal, Aluminio/hojalata, Multilaminados, entre otros.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Manejo Integral de Residuos.** Dentro de la DACBiol, en sus corredores y pasillos, se cuenta con contenedores de plástico con una capacidad estimada de 60 L, estos contenedores están diferenciados con etiquetas de orgánicos e inorgánicos, para su manejo; no cuenta con isletas.

El personal de intendencia labora en dos turnos, matutino y vespertino, estos están asignados en todas las áreas de la División, del cual recolectan en el transcurso del día los residuos acopiados en los contenedores. Los residuos fueron trasladados al CATRE en bolsas negras de 1.20 x 0.90 m, de calibre 300, para su manejo integral, en el cual se registra el nombre de la persona, lugar de generación, número y peso de bolsas y hora de recepción.

**Determinación de la Generación.** Se determinó la cantidad de residuos producidos diariamente a través del pesado en el CATRE (Figura 1), con base en la norma mexicana NMX AA 022 1985. Este proceso de pesado se hizo durante el ciclo febrero- diciembre 2018.



Figura 1. Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos y Áreas del almacenamiento de la DACBiol.

Con los datos obtenidos de la bitácora del CATRE, se realizaron hojas de cálculo y se comparó la cantidad de residuos valorizables producidos en el año 2018 con sus respectivos beneficios estimados.

Se investigaron fuentes información del beneficio de cada residuo (subproducto) que se valoriza en el CATRE. Con los datos obtenidos, se compararon los resultados de beneficios por subproductos y se tomó una media. Como ejemplo más común se reportan los datos de los metales por su facilidad de recuperación, en este caso el aluminio y fierro como se describe en la tabla 1.

Tabla 1. Beneficio del reciclaje del metal Aluminio y Fierro (Hojalata)

Material	A reciclaje	Beneficio del reciclaje	Autor/ Fuente
Aluminio/ Hojalata	1 t Aluminio/Hojalata	4 t bauxita ahorrada	Patricia Coppel (n.d.), Raam D (n.d.), ECOACERO (n.d.)

## RESULTADOS

La generación de residuos está compuesta por 23 subproductos (Materia Orgánica vegetal (M.O. Vegetal), PET, Papel de Oficina, Tapas de polipropileno (Pp), Hojalata, Polipropileno de alta densidad (PEAD), Aluminio, Plástico Rígido, Cartón, Vidrio, PET verde, Fierro, Palos de escoba, Libros, Tóner, Restos de comida, Madera, Suelo, Textil, PVC, Multilaminados, Lixiviado, Unicel), de los cuales 13 son identificados como valorizables (Tabla 2) por su potencial de recuperación económica o tratamiento, como es el caso de los orgánicos vegetales.

Tabla 2. Subproductos valorizables generados en la DACBiol.

Subproductos valorizables	
Materia Orgánica vegetal	Hojalata

## Ecotecnias y sustentabilidad ambiental en el trópico húmedo

Polietileno tereftalato (PET)	Cartón
Tapas de polipropileno (PP)	Papel de oficina
Polipropileno de alta densidad (PEAD)	Libros
Plástico rígido	Vidrio
Aluminio	Madera (palos de escoba)
Aleaciones de Hierro	

---

Con respecto a la generación de residuos valorizables del año 2018, se obtuvo un total de 4.30 t; en la figura 2, se muestran los datos de los residuos que tienen beneficios ambientales. El subproducto más generado y acopiado es el Papel y Cartón, que incluyen a libros, papel de oficina y cartón con 1.43 t, seguidos de la M. O. Vegetal con 1.08 t, y PET con 0.94 t.

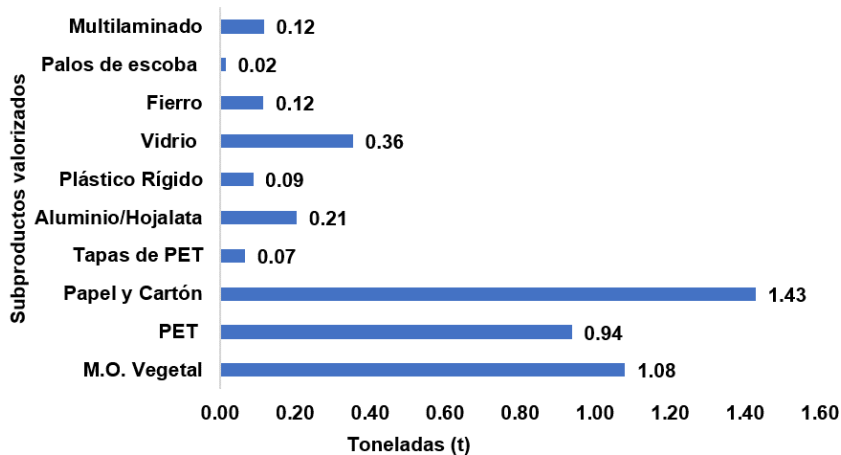


Figura 2. Subproductos valorizables en el año 2018 de la DACBiol.

En el caso de los demás subproductos se encontraron los siguientes beneficios como ahorro estimado: CO<sub>2</sub> (t), Etileno (t), Agua (L), Barriles de petróleo



ahorrado, Árboles, Energía (kW), Diésel (kg), Madera (t), Bauxita (t), Material virgen (t), CO<sub>2</sub> no emitido (kg), SO<sub>2</sub> no emitido (kg), CO<sub>2</sub> no emitido (t), Composta (kg), en el caso se comparan los beneficios con los datos generados por DACBiol (Tabla 3).

Tabla 3. Estimación de Beneficio de residuos valorizables aportado por DACBiol en 2018.

Subproductos (t)	Datos de Beneficios por Subproducto		
	Beneficios reciclaje	unidad	DACBiol
PET	CO <sub>2</sub> ahorrado (t)	2.5	2.3
	Etileno ahorrado (t)	1.0	0.9
	Agua ahorrada (L)	39,290	36,875
	Barriles de petróleo ahorrado (158.9 L)	16.3	15.2
Cartón/papel	Árboles	12	17.1
	Agua ahorrada (L)	270,000	385,767
	Energía ahorrada (kW)	7,000	10,001
Multilaminados	Energía ahorrada (kW)	3,000	353.7
	Agua ahorrada (L)	100,000	11,790
	Diesel ahorrado (kg)	221	26
	Madera ahorrada (t)	1.5	0.1
Aluminio y hojalata	Bauxita ahorrada (t)	4	0.8
	Energía ahorrada (kW)	14,000	2,875
Tapas de PET	Energía ahorrada (kW)	5000	337.1
	Barriles de petróleo ahorrado (158.9 L)	16.3	1.0
	Agua ahorrada (L)	40,000	2,697.2
Vidrio	Material virgen ahorrado (unidad)	1.2	0.4
	CO <sub>2</sub> no emitido (kg)	200	71
Fierro	SO <sub>2</sub> no emitido (kg)	8.3	0.9
	CO <sub>2</sub> no emitido (t)	9.8	1.1

Materia Orgánica	Composta (kg)	300	324.1
Vegetal			

---

## DISCUSIÓN

De los trabajos publicados por universidades, pocos reportan la generación y manejo de sus residuos, por consiguiente, se desconoce el porcentaje de aprovechamiento de estos. En México, la Universidad Autónoma de Baja California para el 2008, registró que la mayor proporción de residuos son reciclables o potencialmente reciclables, que representaron el 55 % en el caso de los edificios, el 88% en el caso de los jardines y el 85 % en el caso del centro comunitario (Armijo de Vega *et al.*, 2008). El Centro de Investigación y Estudios Avanzados de Mérida del Instituto Politécnico Nacional, implementó un programa para minimizar y reciclar los residuos donde se redujo la cantidad de residuos enviados a un relleno en el año 2003 con un 67 % (Maldonado, 2006). En la actual Ciudad de México, la Universidad Iberoamericana cuantificó y caracterizó sus residuos en los años 2008-2009, donde señaló que el 52 % de los residuos generados es adecuado para el compostaje, el 27 % es material reciclable y el 21% debe ser enviado a disposición final (Morales, 2012). En el caso de la División Académica de Ciencias Biológicas para el 2018, se generó un total de 24.53 t de residuos, de los cuales, el 4.30 t (17.52 %) fue recuperado y el 20.23 t (82.4 %) se envió a disposición final.

## CONCLUSIONES

La DACBiol recuperó el 18 % aproximadamente de sus residuos. Con los datos de los residuos valorizables, se puede estimar en toneladas que de CO<sub>2</sub> no emitido fue de 74.54, de Etileno ahorrado 0.97, de Agua ahorrada 437,130.42, de Barriles de Petróleo ahorrado 16.40, de árboles ahorrados 17.15, en energía ahorrada (kW) 13,567, en Diesel ahorrado 26.06, en Madera ahorrada 0.18, en Bauxita ahorrada 0.82, en materiales vírgenes para hacer vidrio 0.43, en emisiones de SO<sub>2</sub> no emitidas con 0.96 y en compost de materia orgánica con 324.18 kg.

A parte de obtener un beneficio económico de los subproductos, detrás de ello se percatan datos ambientales al integrarlos de nuevo a los procesos productivos. Aunque son estimaciones, se puede contribuir con base en la literatura, con datos que pudieran estudiarse a más profundidad y poder hacer estimaciones más precisas.

## REFERENCIAS

- Alshuwaikhat, HM & Abubakar, I (2008). An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices. *Journal of Cleaner Production*, 16(16):1777–1785. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.12.002>»
- Armijo de Vega, C; Ojeda Benítez, S & Ramírez Barreto, ME (2008). Solid waste characterization and recycling potential for a university campus. *Waste Management*, 28 (SUPPL. 1). DOI «<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.03.022>»
- Capdevila, I. (1999). L'ambientalització de la Universitat (Monografías de educación ambiental). Grupo de Edición: Di7. Palma de Mallorca, España. ISBN 8489754608.
- Coppel, DKP (n.d.). Separado No Es Basura A.C. Recuperado el 15 de noviembre de 2019 de «<http://www.separadonoesbasura.org/inicio.html>»
- Cortese, AD (2003). Planning for Higher Education The Critical Role of Higher Education in Creating a Sustainable Future Need for a New Human Perspective Envisioning a Sustainable Future. *Planning for Higher Education*, 15–22.
- ECOACERO. (n.d.). ECOACERO – Asociación Ecológica para el Reciclado de la Hojalata. Consultado el 10 de septiembre de 2019 en «<http://www.ecoacero.com/>»
- Hockett, D; Lober, DJ & Pilgrim, K (1995). Determinants of per capita municipal solid waste generation in the southeastern United States. *Journal of Environmental Management*, 45(3): 205–217. DOI «<https://doi.org/10.1006/jema.1995.0069>»
- Irwan, D; Basri, NEA & Watanabe, K (2012). Interrelationship between affluence and household size on municipal solid waste arising evidence from selected residential areas of Putrajaya. *Journal of Asian Scientific Research*, 2(11): 747–758.
- López-Méndez, C; Ruelas-Ayala, RD; Sañudo-Torres, RR; Armenta-López, C & Félix-Herrán, JA (2013). Influencia de diferentes sustratos orgánicos en la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). *Tecnociencia Chihuahua*, VII (2): 81–88.
- Maldonado, L. (2006). The economics of urban solid waste reduction in educational institutions in Mexico: A 3-year experience. *Resources, Conservation and Recycling*, 48(1): 41–55. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.12.007>»
- Morales, M. (2012). Solid waste characterization at the Universidad Iberoamericana, Mexico City. *Rev Int Contam Ambient*, 28(1): 93–97. Recuperado de «[http://ri.iberomx/bitstream/handle/iberomx/2032/RMM\\_Art\\_03.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ri.iberomx/bitstream/handle/iberomx/2032/RMM_Art_03.pdf?sequence=1&isAllowed=y)»
- Raam Dev (n.d.). Stop Basura – La verdad sobre reciclar. Recuperado el 17 de agosto de 2019 de «<https://stopbasura.com/>»

## Ecotecnias y sustentabilidad ambiental en el trópico húmedo

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] (2013). El medio ambiente en México 2013-2014. Recuperado el 5 de septiembre de 2019 de «[https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_resumen14/07\\_residuos/7\\_1\\_2.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/07_residuos/7_1_2.html)»

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2003). NOM 083-SEMARNAT-2003: Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial



**Fotografía:** Humedales artificiales con *Thalia geniculata* L. Gaspar López Ocaña

## **CAPÍTULO 6**

# Tratamiento de aguas residuales en humedales artificiales con *Thalia geniculata* L.

Gaspar López Ocaña  
Liliana Pampillón González  
Carlos Alberto Torres Balcázar  
Arturo Valdés-Manzanilla  
Rocío López Vidal<sup>1</sup>

## RESUMEN

Este trabajo presenta el tratamiento de aguas residuales domésticas de la DACBiol mediante Humedales Artificiales de Flujo Libre y de Flujo Subsuperficial. Los reactores de estudio fueron de 2.5 m de largo x 1.2 m de ancho x 1 m de alto. La operación consistió en el llenado del Tanque de control (200 L) para posteriormente alimentar los humedales con sus repeticiones. En la fase de monitoreo se tomaron 40 muestras de los efluentes para cada humedal y del tanque control, durante tres meses evaluando la eficiencia de remoción de contaminantes básicos en ambos humedales con grava  $\frac{3}{4}$ " como medio de soporte y con *Thalia geniculata* L. (popal), que es una especie nativa presente en gran parte de América. Los parámetros analizados fueron: Temperatura, pH, Turbiedad y Color. La eficiencia de remoción en el Flujo Libre en cuanto a Turbiedad fue de 87.65 % y 83.07 % para Color, el flujo Subsuperficial obtuvo una eficiencia de 78.97 % para Turbiedad y 86.83 % para Color. Además, se encontró que el pH en el efluente de los humedales está en un rango de 8.06 a 8.3 y la Temperatura de 28.15 °C a 28.27 °C. La especie presenta mejor desempeño en el Flujo Libre.

---

<sup>1</sup> División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, kilómetro 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas, Entronque Bosques de Saloya, Villahermosa, 86039, Tabasco, México.  
ocanagl77@hotmail.com

## INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua y su disponibilidad para las actividades económicas y productivas en México es cada vez más creciente (Guido Zárate, 2006). La contaminación de aguas superficiales y subterráneas es ocasionada por las descargas sin tratamiento previo, de aguas municipales e industriales, así como por los arrastres que provienen de las zonas que practican actividades agrícolas y pecuarias (SEMARNAT, 2013). Se estima que aproximadamente el 71 % de las aguas residuales generadas en nuestro país son descargadas al ambiente sin ningún tratamiento adecuado (CONAGUA, 2016). Para solucionar este problema, los humedales artificiales (HA) representan una alternativa viable desde el punto de vista económico en países en vías de desarrollo (Whitney, Rossman & Hayden, 2002).

Los humedales artificiales son considerados como alternativas de bajo costo para tratamientos de efluentes municipales, industriales y agrícolas (Ayaz, 2008). Esta tecnología imita los procesos que ocurren en los humedales naturales y consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava o arena impermeabilizado (Delgadillo *et al.*, 2010). Aquí las plantas son la base del proceso, ya que degradan, absorben y asimilan en sus tejidos los contaminantes, pero también proporcionan una extensa superficie donde se posibilita el crecimiento bacteriano y se retienen los elementos sólidos en suspensión (Fernández *et al.*, 2001). En este sentido, en Tabasco se ha registrado una considerable diversidad de flora de pantanos que no han sido evaluados como medios para el tratamiento de aguas residuales; además, se ha reportado que en climas tropicales el uso de sistemas de HA es eficiente (Rivera, 1995), no obstante es preciso establecer el comportamiento en la remoción y conocer qué efectos se ejercen sobre microorganismos y plantas con los principales parámetros de operación dependiendo del tipo de diseño, pues los sistemas pueden obtener variaciones en la eficiencia, además de tomar en cuenta que están sujetos a cambios bruscos de temperatura, variación de carga y caudal por la misma naturaleza del agua residual (Crites & Tchobanoglous, 2000).

La legislación ambiental contempla que los responsables de descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales cumplan con las normas ambientales y de salud pública, con el objetivo de proteger su calidad y posibilitar sus usos. Es por ello por lo que se evaluaron las aguas de influente y efluente en cada uno de los HA (calidad del agua) así como la especie empleada en éstos, para proponer acciones necesarias de operación óptima y adecuada de los sistemas de humedales artificiales de flujo libre (HAFL) y humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFS) en el estado de Tabasco, con la finalidad de cumplir con criterios de las descargas de los reactores y reúso (NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997). El objetivo fue evaluar y comparar la remoción de contaminantes básicos en HAFL y HAFS con *Thalia geniculata* L. en el tratamiento de agua residual doméstica. Las metas se enfocaron a generar información técnica, sobre el potencial de depuración de *Thalia geniculata* L. para su uso en los sistemas de tratamiento vía humedales artificiales en el sureste de México donde tiene una gran abundancia y distribución; así como disminuir costos de construcción y operación por utilizar una especie endémica en los humedales, pues los HA del estado de Tabasco, han utilizado especies introducidas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Características de los humedales experimentales.** Cada uno de los reactores cuentan con 2.5 m de largo x 1.2 m de ancho x 1 m de alto. Fueron diseñados para operar con un tiempo de retención hidráulica de 7.7 días y una constante de degradación  $k$  de  $0.45 \text{ días}^{-1}$  en el caso del HAFL, y de un tiempo de retención hidráulica de 5 días y una constante de degradación  $k$  de  $0.20 \text{ días}^{-1}$  en el caso del HAFS (López *et al.*, 2014).

**Muestreo y colecta.** La selección de la especie inicialmente se fundó en la literatura de Crites & Tchobanoglous (2000) y CONAGUA (2016), pues establecen que, para los HAFL, la especie común incluye enneas, juncias y juncos, lo que nos brindó la pauta para identificar las macrófitas presentes en los humedales naturales del Municipio de Centro, Tabasco; donde se identificó y se colectó *Thalia geniculata* L. (popal)



existente en el estado de Tabasco para siembra en ambos tipos de reactores (HAFL y HAFS).

**Siembra de individuos.** En los HAFL (tirante de 0.2 m), la especie presentó un tallo de 55 cm de longitud, de manera que una parte de éste saliera por encima de la superficie del agua, dicha especie fue sembrada a 15 cm de profundidad del medio de soporte. En los HAFS, el tamaño del tallo fue de 35 cm de largo, la raíz se colocó a 25 cm por debajo de la superficie del medio de soporte (grava  $\frac{3}{4}$ ", con tirante de 0.5 m) (Crites & Tchobanoglous, 2000).

**Operación de las unidades experimentales.** Durante el periodo monitoreado se regularon las válvulas garantizando el tiempo de retención hidráulico, por lo tanto, el llenado del tanque de control era cada 4 h. El caudal del agua residual es extraído del cárcamo colector con una bomba centrífuga de 1 HP, mediante tubería, válvulas de esfera y adaptadores (pichancha, uniones tipo rosca, codos, uniones tipo T) de PVC de  $\frac{1}{2}$ ", hasta los dos tanques de distribución de 0.2 m<sup>3</sup> encargados de distribuir el caudal de AR a los HA, siendo llenados tres veces al día (8, 14 y 24 h), ya que estos alimentan otros reactores.

**Aforo, muestreo y determinación analítica.** El caudal del efluente se midió durante 24 días, el método utilizado fue el aforo directo o aforo volumétrico (Briones & García, 2014). El muestreo se realizó después de un año de operación llevándose a cabo de lunes a viernes a las 11 horas durante ocho semanas (6 agosto al 28 septiembre del 2018) bajo lineamientos de la NMX-AA-003 Aguas Residuales-Muestreo. Se tomó una muestra simple de cada punto de muestreo, es decir, una del tanque de distribución, seguida de la salida del HAFL y la salida del HAFS, colectando 1 muestra diaria para tener un total de 40 muestras al final de las ocho semanas de muestreo, las cuales fueron analizadas en Laboratorio de Tecnología del Agua DACBioI-UJAT, justo después de la toma, evitando cambios fisicoquímicos de la muestra que determinen los valores erróneos de cada parámetro antes mencionado. La determinación de los parámetros de control como la temperatura (°C), turbiedad (UTN), color (UC) y potencial

de hidrógeno, se determinó mediante los métodos SM 2550, EPA180.1 (1983), SM 2120B y SM 9040B, respectivamente. Para el cálculo de temperatura y pH se utilizó el multiparamétrico HANNA Waterproof Tester modelo HI 98129, para medir el color se estimó con un fotómetro LaMotte SMART3 y la turbiedad se determinó con un turbidímetro HANNA HI 98703.

**Diseño experimental y análisis estadístico.** Para esta investigación se requirió un diseño aleatorio de una especie con dos tipos de flujo, para evaluar las variables de respuesta como temperatura, pH, turbiedad y color, las cuales resultaron ser datos no paramétricos por no cumplir con los postulados de normalidad (Kolmogorov-Smirnov;  $p < 0.05$ ) y homocedasticidad (F;  $p < 0.05$ ), por lo que se procedió a determinar su análisis no paramétrico realizando la prueba de Kruskal-Wallis y el contraste de medianas de Mann-Whitney. Los datos fueron analizados con el software STATGRAPHICS Centurion versión 16.1 (2013). El número de repeticiones fue de tres por cada tratamiento (Figura 1).

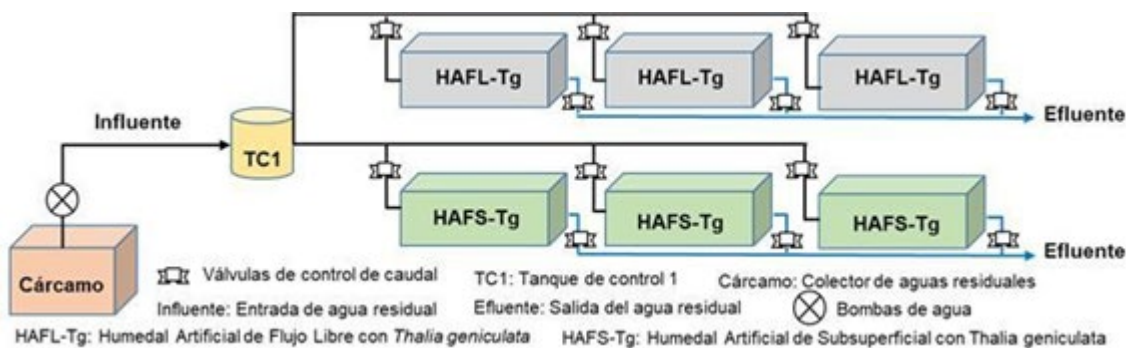


Figura 1. Arreglo de humedales artificiales (HA) en el experimento.

**Eficiencia de remoción.** La eficiencia de remoción de contaminantes básicos en el tratamiento de aguas residuales se evaluó mediante un tren de tratamiento conformado de la siguiente manera: tanque de control, Laguna anaerobia seguido de HAFL comparando los valores de entrada y salida del agua residual. Se evaluaron los parámetros de calidad del agua respuesta turbiedad, color, temperatura y pH. Para obtener la eficiencia de remoción en los tratamientos se calculó en porcentajes de remoción de cada variable analizada, de acuerdo con la ecuación 1 (Vázquez & López, 2011).

$$\eta = \left( \frac{C_e - C_s}{C_e} \right) \times 100 \quad (1)$$

Donde:

$\eta$  = remoción en porcentaje,

$C_e$  = concentración de entrada de agua residual,

$C_s$  = concentración de salida del agua residual tratada.

## RESULTADOS

**Caracterización volumétrica.** En el HAFL, el gasto de operación fue de  $184.26 \pm 28.15$  L día<sup>-1</sup> (*Promedio + Desviación Estándar*), presentándose un valor mínimo de 129.60 L/día y un máximo de 226.80 L día<sup>-1</sup>. Para el HAFS, el gasto de operación fue de  $181.08 \pm 25.42$  L día<sup>-1</sup>, presentándose un valor mínimo de 129.60 L día<sup>-1</sup> y un máximo de 226.80 L día<sup>-1</sup>. El medio de soporte para ambos humedales presenta de grava de  $\emptyset$  promedio de  $19.5 \pm 6.8$  cm, densidad de  $1480 \pm 60$  kg m<sup>-3</sup> y una porosidad ( $n$ ) de  $0.53 \pm 0.01$ , teniendo un tiempo de retención hidráulico (TRH) para el HAFL (0.2 m de soporte) de 7.0 días y para el HAFS (0.5 m de soporte) de 4.4 días. A continuación, en la figura 2 se presenta el comportamiento del gasto durante la semana para ambos tipos de reactores de HA.

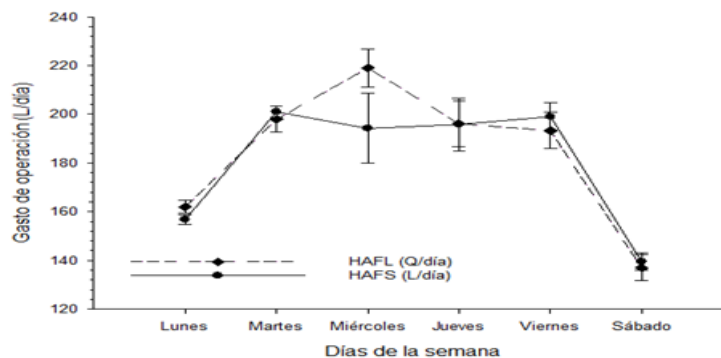


Figura 2. Gasto de operación en los humedales artificiales de flujo libre (HAFL) y humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFS) durante la semana. Presenta valores promedio más error estándar ( $\bar{X} + ES$ ) ( $N=24$ ).

**Caracterización del agua residual.** Los parámetros evaluados en los efluentes de los humedales fueron parámetros de control, la temperatura se encontró en un rango de 28 °C a 30 °C, el pH 8 a 8.9, la turbiedad de 5 UTN a 35 UTN y el color de 165 UC a 1,254 UC. Los valores promedio del tanque control y los tratamientos de los humedales de flujo libre y subsuperficial se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores promedio con desviación estándar ( $X \pm DE$ ) del tanque control y los tratamientos obtenidos de los humedales (N=40).

Parámetro	Tanque de control		HAFS-Tg		HAFL-Tg	
	X	$\pm DE$	X	$\pm DE$	X	$\pm DE$
Temperatura (°C)	30.64	1.97	28.27	1.14	28.14	1.47
pH (UpH)	8.91	0.26	8.06	0.39	8.30	0.35
Turbiedad (UTN)	36.38	10.49	7.65	3.05	4.49	1.83
Color (UC)	1254.3	336.4	165.2	78.3	212.3	70.6

Nota: (HAFS-Tg = Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial con *Thalia geniculata* L.; HAFL-Tg = Humedal Artificial de Flujo Libre con *Thalia geniculata* L.)

**Temperatura.** La temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0 % de confianza dentro de cada uno de los 3 niveles de tratamientos (Kruskal-Wallis;  $p < 0.05$ ). La prueba de medianas de Mood presentó una mediana global igual a  $28.965^{\circ}\text{C}$ . El valor de la mediana más bajo se encontró en el tratamiento HAFL-Tg, con  $27.55^{\circ}\text{C}$  y valor de la mediana más alto se encuentra en el tratamiento T. Control con  $29.89^{\circ}\text{C}$ . Las tendencias de temperatura se muestran en la Figura 3.

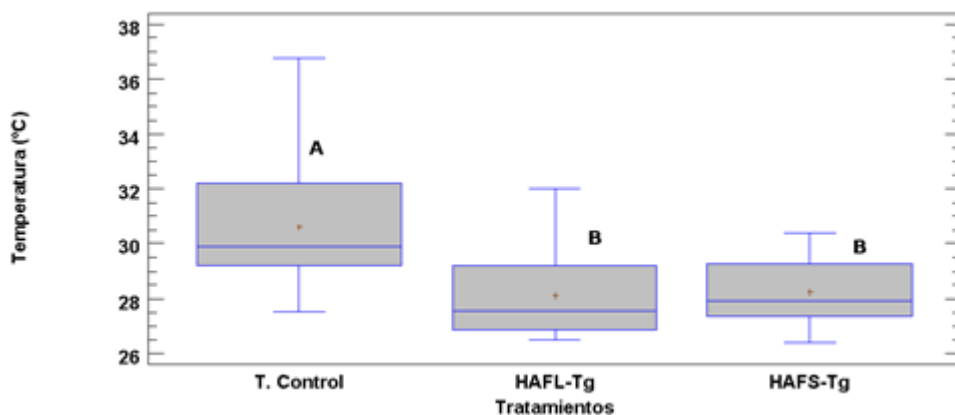


Figura 3. Valores de la mediana  $\pm$  intervalo Intercuartil para la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ). Letras diferentes indican diferencias ( $P < 0,05$ ) con un 95 % de confianza estadísticamente significativas entre los tratamientos. T. Control: Tanque de control; HAFL-Tg: Humedal artificial de flujo libre con *Thalia geniculata*; HAFS-Tg: Humedal artificial subsuperficial con *Thalia geniculata*.

**Potencial de Hidrógeno.** El pH muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0 % de confianza dentro de cada uno de los 3 niveles de tratamientos (Kruskal-Wallis;  $p < 0.05$ ). El valor de la mediana de pH se encuentra en el tratamiento HAFS-Tg con un valor de 8.0, seguido del tratamiento HAFL-Tg con 8.9 y el valor de la mediana más alto se encuentra en T. Control con 8.9. Las tendencias del pH se muestran en la Figura 4.

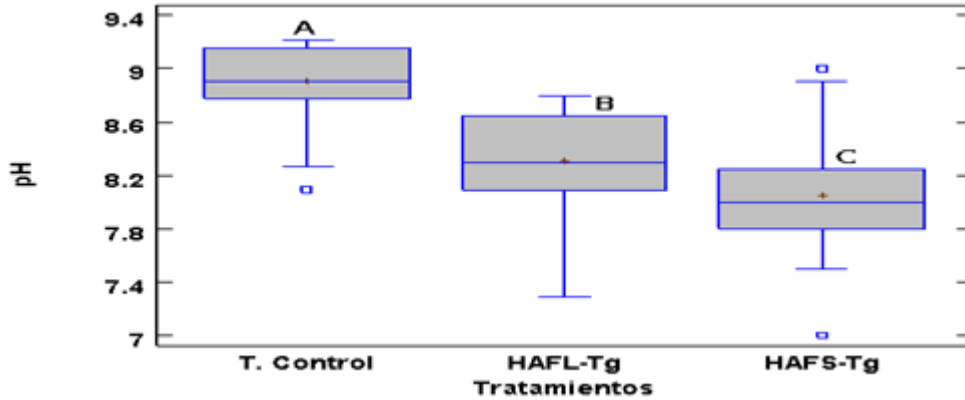


Figura 4. Valores de la mediana  $\pm$  intervalo Intercuartil para el pH. Letras diferentes indican diferencias ( $P < 0,05$ ) con un 95 % de confianza estadísticamente significativas entre los tratamientos. T. Control: Tanque de control; HAFL-Tg: Humedal artificial de flujo libre con *Thalia geniculata*; HAFS-Tg: Humedal artificial subsuperficial con *Thalia geniculata*.

**Turbiedad.** La turbiedad (UTN) muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0 % de confianza dentro de cada uno de los 3 niveles de tratamientos (Kruskal-Wallis;  $p < 0.05$ ). El valor de la mediana más bajo se encuentra en el tratamiento HAFL-Tg con un valor de 4.35 UTN, seguido del tratamiento HAFS-Tg con 7.65 UTN y el T. Control presenta un valor de la mediana de 38.65 UTN. Las tendencias de Turbiedad se presentan en la Figura 5.

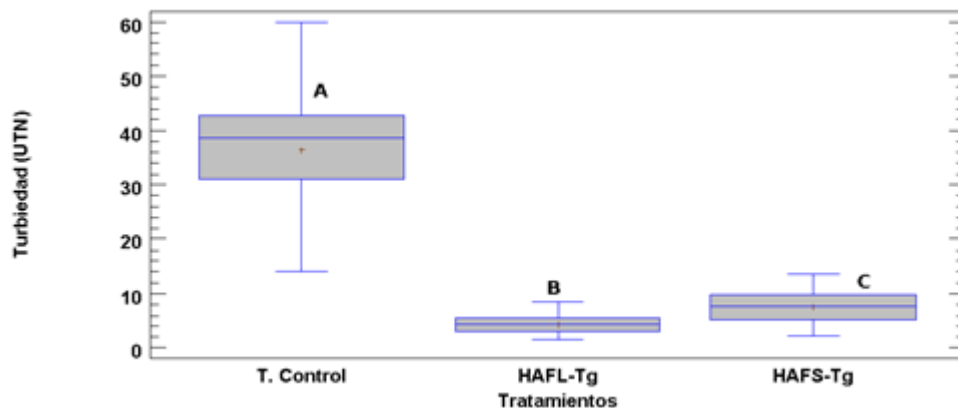


Figura 5. Valores de la mediana  $\pm$  intervalo Intercuartil para la Turbiedad (UTN). Letras diferentes indican diferencias ( $P < 0.05$ ) con un 95 % de confianza estadísticamente

significativas entre los tratamientos. T. Control: Tanque de control; HAFL-Tg: Humedal artificial de flujo libre con *Thalia geniculata*; HAFS-Tg: Humedal artificial subsuperficial con *Thalia geniculata*.

**Color.** El color (UC) muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0 % de confianza dentro de cada uno de los 3 niveles de tratamientos (Kruskal-Wallis;  $p < 0.05$ ). El valor de la mediana más bajo se presenta en el tratamiento HAFS-Tg con un valor de 169.3 UC, seguido del tratamiento

HAFL-Tg con un valor de 224.8 UC y el T. Control con un valor de la mediana de 1321.5 UC. Las tendencias de color se muestran en la Figura 6.

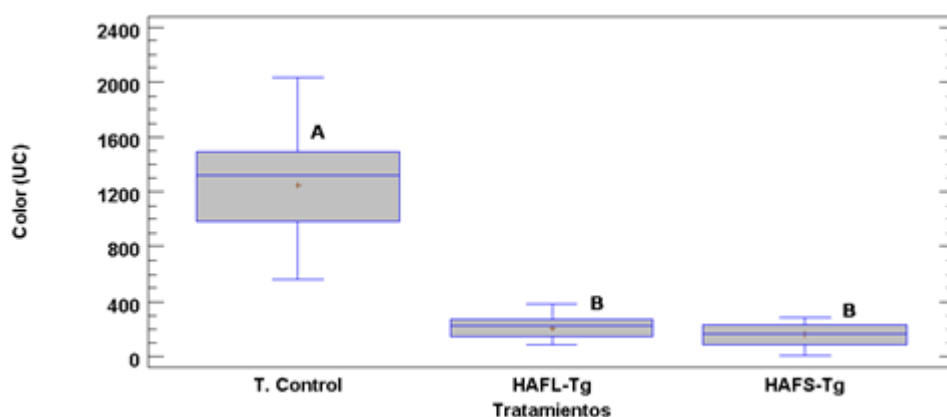


Figura 6. Valores de la mediana  $\pm$  intervalo Intercuartil para el color (UC). Letras diferentes indican diferencias ( $P < 0,05$ ) con un 95 % de confianza estadísticamente significativas entre los tratamientos. T. Control: Tanque de control; HAFL-Tg: Humedal artificial de flujo libre con *Thalia geniculata*; HAFS-Tg: Humedal artificial subsuperficial con *Thalia geniculata*.

**Eficiencias de Remoción.** Las eficiencias de remoción en los humedales artificiales tienen comportamientos óptimos para cada parámetro. En cuanto al parámetro de turbiedad, el sistema más eficiente es el sistema de flujo libre (HAFL), mientras que para el parámetro de color el sistema más eficiente es el flujo

Ecotecnias y sustentabilidad ambiental en el trópico húmedo

subsuperficial (HAFS). Las eficiencias en los demás parámetros de control se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores promedio ( $\bar{X}$ ) y porcentaje del error estándar ( $ER\%$ ) de la eficiencia de remoción en los tratamientos obtenidos de los humedales ( $N=40$ ).

Parámetro	Tanque de control	HAFS-Tg		HAFL-Tg	
		$\bar{X}$	ER (%)	$\bar{X}$	ER (%)
Temperatura (°C)	30.64	28.27	7.75	28.14	8.16
pH (UpH)	8.91	8.06	9.56	8.30	6.89
Turbiedad (UTN)	36.38	7.65	78.97	4.49	87.65
Color (UC)	1254.33	165.21	86.83	212.31	83.07

Nota: (HAFS-Tg = Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial con *Thalia geniculata* L.; HAFL-Tg = Humedal Artificial de Flujo Libre con *Thalia geniculata* L.)



## DISCUSIÓN

El papel de las plantas es muy importante en los HA, debido a que aportan oxígeno al medio mejorando las eficiencias de remoción, amortiguan la temperatura del agua y favorecen el crecimiento de microorganismos en los rizomas, por lo que es conveniente demostrar el potencial de *Thalia geniculata* L. para emplear en el tratamiento de aguas residuales vía humedales artificiales.

Park & Polprasert (2008) trataron agua residual en HAFS, el cual tenía *Typha angustifolia* como especie y en el efluente obtuvieron una remoción del 83.8 % de turbiedad, el sistema integrado consistía en un HAFS y una unidad de post-filtro, en serie; ambas unidades fueron empacadas con conchas de ostras como medios de adsorción y filtración. En nuestro caso, el HAFS con medio de soporte de grava de  $\frac{3}{4}$ " de canto redondo removió el 78.97 % con tiempo de retención hidráulica de 4.5 días. La diferencia entre estos dos tratamientos es que nuestro tratamiento consta de un solo reactor y no de unidades en serie, por lo que la eficiencia en dos unidades en serie es mayor, sin embargo, el HAFS de nuestro experimento presenta una eficiencia un poco mayor de 87.65 % de remoción en turbiedad con una sola unidad, pero el tiempo de retención es de 7.5 días. Aun así, nuestros resultados presentan mejores rendimientos que los obtenidos por Saeed *et al.*, (2014) quienes reportaron eficiencias de remoción del 73.7 % de la turbiedad presente en aguas residuales municipales empleando humedales de flujo vertical (HAFV) con una combinación de macrófitas como *Phragmites australis*, *Cyperus difformis*, *Dracaena sanderiana* y *Canna indica*.

Ong *et al.* (2009) trataron aguas residuales de la industria textil en un humedal de flujo vertical (HAFV) y evaluaron la remoción del color obteniendo eficiencias de remoción hasta de 98 %, sin embargo, el proceso también incluye la aireación o suministro de oxígeno en el HAFV con *Phragmites australis*. En nuestro caso el color alcanzó su mayor eficiencia de remoción en el HAFS con 86.83 % y para el caso de los HAFV la remoción fue de 83.07 %, con una variación de pH de 8 a 8.3. Del mismo modo, Grafias *et al.*, (2010) emplearon un HAFV para tratar lixiviados de orujo de oliva, como resultado obtuvieron valores de pH de 8.5 y remociones de 77 % de color,

teniendo un tiempo de retención de tres días. Con lo anterior expuesto, podemos decir que nuestros resultados con *Thalia geniculata* L. son muy similares a los reportados por Bedoya, Ardila & Reyes (2014), quienes implementaron HAFS con *Typha latifolia* obteniendo 90.91 % y 84.55 % para color y turbiedad, mientras que el experimento con un HAFS y *Cyperus papyrus*, lograron remover 92.28 % y 87.27 % para color y turbiedad respectivamente.

Finalmente, los parámetros de pH y temperatura presentaron valores dentro de los límites máximos permisibles (Temperatura de 40 °C y pH es de 5 a 10 unidades) establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 para su descarga en aguas y bienes nacionales.

## **CONCLUSIONES**

Con los resultados obtenidos corroboramos que efectivamente los sistemas de HAFL y HAFS con *Thalia geniculata* L. son factibles para el tratamiento de aguas residuales con altas eficiencias de remoción de contaminantes básicos.

Ambos tipos de flujo se comportaron de manera similar con la especie *Thalia geniculata* L., teniendo un tiempo de retención hidráulica de 7.5 días para el flujo libre y 4.4 días para los subsuperficiales.

Consideramos que las diferencias entre los tiempos de retención aportan una significancia en los HAFL para la eliminación sólidos suspendidos medidos indirectamente como turbiedad, pues alcanzaron 87.65 % de remoción, es decir, un 10 % más que en los HAFS.

Si se utilizan en serie este tipo de humedales, las eficiencias serán mayores a las reportadas en este estudio, pues aquí se presentan datos de un solo reactor operado como tratamiento primario-secundario.

## REFERENCIAS

- Ayaz, S (2008). Post-treatment and reuse of tertiary treated wastewater by constructed wetlands. *Desalination*, 226 (1–3): 249-255. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.02.110>»
- Bedoya, JC; Ardila, AN & Reyes, CJ (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la institución universitaria colegio mayor de Antioquia, Colombia. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 30(3): 275-283. Recuperado de «<http://www.redalyc.org/pdf/370/37031522004.pdf>»
- Briones, G & García, I (2014). *Aforo del agua en canales y tuberías* (p. 100). Ciudad de México, México: Editorial Trillas. ISBN: 9789682474880.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] (2016). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Humedales Artificiales. Recuperado de «<http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro30.pdf>»
- Crites, R & Tchobanoglous, G (2000). *Sistemas de Manejo de Aguas Residuales, para Núcleos Pequeños y Descentralizados* (Tomo 3, p. 1082). Bogotá, Colombia: McGraw Hill.
- Delgadillo, O; Camacho, A; Pérez, LF & Andrade, M (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Edición Nelson Antequera Durán. Depósito Legal N°: 2-1-154-10. ISBN: 978-99954-766-2-5. Recuperado de «<file:///C:/Users/User/Documents/ARTICULOS%202019/ARTICULO%20SDVC%202019%20GLO/48017573.pdf>»
- Environmental Protection Agency [EPA]180.1 (1983). *Turbidity (Nephelometric). Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes*. Cincinnati, OH, EEUU: Environmental Monitoring and Supporting Laboratory.
- Fernández, J; De Miguel, E; De Miguel, J & Curt, M (2001). *Manual de fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación*. Madrid: Fundación Global Nature. Universidad Politécnica de Madrid. Consultado el 13 de agosto de 2018 en «<file:///C:/Users/User/Documents/ARTICULOS%202019/ARTICULO%20SDVC%202019%20GLO/Capítulos%201%20a%202.pdf>»
- Guido Zárate, A (2006). *Estudio de los potenciales de óxido-reducción en reactores biológicos que simulan un humedal artificial* (Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental), UNAM. México D.F. México. Recuperado de «<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/844/guidozarate.pdf?sequence=11>»
- Grafias, P; Xekoukoulotakis, NP; Mantzavinos, D & Diamadopoulou, E (2010). Pilot treatment of olive pomace leachate by vertical-flow constructed wetland and electrochemical oxidation: an efficient hybrid process. *Water Research*, 44: 2773-2780. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.02.015>»

- López, G; Torres, CA; Bautista, RG; Hernández, JR; Cruz, E & Ferrer, MI (2014). Diseño de sistemas experimentales de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial. En Chablé, F & Angulo, R (Comp.), *Perspectiva Científica desde la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco* (pp. 133-146). Tabasco, México: UJAT. Recuperado de «<http://www.archivos.ujat.mx/2014/divulgacion%20cientifica/SDDC2013final.pdf>»
- NMX-AA-003-1980. *Norma Mexicana. "Agua Residual. - Muestreo"*. «<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa003.pdf>»
- NOM-001-SEMARNAT-1996. *Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*. «<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-15-13.pdf>»
- NOM-003 SEMARNAT-1997. *Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público*. «<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-15-13.pdf>»
- Ong, SA; Uchiyama, K; Inadama, D & Yamagiwa, K (2009). Simultaneous removal of color, organic compounds and nutrients in azo dye-containing wastewater using up-flow constructed wetland. *J Hazard Mater*, 165: 696–703. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.10.071>»
- Park, WH & Polprasert, C (2008). Roles of oyster shells in an integrated constructed wetland system designed for p removal. *Ecological Engineering*, 34: 50–56. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.05.014>»
- Rivera, F (1995). Removal of Pathogens from wastewater by the Root Zone Method (RZM). *Water Science and Technology*, 32(3): 211-218. DOI «[https://doi.org/10.1016/0273-1223\(95\)00622-2](https://doi.org/10.1016/0273-1223(95)00622-2)»
- Saeed, T; Al-Muyeed, A; Afrin, R; Rahman, H & Sun, G (2014). Pollutant removal from municipal wastewater employing baffled subsurface flow and integrated surface flow-floating treatment wetlands. *J Environ Sci*, 26: 726–736. DOI «[https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(13\)60476-3](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(13)60476-3)»
- SEMARNAT (2013). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental 2012* (p 361). México: SEMARNAT.
- SM 2120B. Color (2017). Chemical, SDWA Approved, CWA Approved, Part 2000.
- SM 2550. Temperature (2017). Chemical, SDWA Approved, Part 2000.
- SM 9040B. pH Value (2017). Chemical, SDWA Approved, CWA Approved, Part 4000.
- STATGRAPHICS Centurion versión 16.1 (2013). «<http://www.statgraphics.com/download-statgraphics-centurion-xvi>»
- Vázquez, MB & López, G (2011). Evaluación Técnica de un Tanque Imhoff para el Tratamiento de Aguas Residuales en Centro, Tabasco. *Tecnociencia*, 5(1): 32 - 47. Recuperado de

«[http://www.unacar.mx/contenido/tecnociencia/tecnociencia\\_enero\\_junio11/tema\\_5\\_evaluacion\\_tecnica\\_de\\_un\\_tanque.pdf](http://www.unacar.mx/contenido/tecnociencia/tecnociencia_enero_junio11/tema_5_evaluacion_tecnica_de_un_tanque.pdf)»

Whitney, D; Rossman, A & Hayden, N (2002). Evaluating an existing substrate flow constructed wetland in Akumal. *Ecological Engineering*: 104-111. DOI «[https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(02\)00144-1](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00144-1)»



**Fotografía:** Estación meteorológica portátil. Sergio Ramos Herrera

# CAPÍTULO 7

# Monitoreo automático de la temperatura con un dispositivo electrónico integrado por un sensor de bajo costo

Sergio Ramos Herrera<sup>1</sup>  
Anahi Guadalupe Bolaina García<sup>1</sup>  
David Balladares de la Cruz<sup>2</sup>

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue diseñar y desarrollar un dispositivo para la medición de la temperatura de un líquido con un sensor de bajo costo, aplicarlo en el monitoreo de la temperatura de enfriamiento de agua calentada previamente y determinar la constante de proporcionalidad en la ley de enfriamiento de Newton. Se utilizó un sensor de temperatura de líquidos y un módulo lector de micro tarjetas que fueron integrados a una tarjeta microcontroladora Arduino uno. Con un termómetro de vidrio y un termómetro infrarrojo se validaron los datos de temperatura medidos cada minuto por el sensor. Los resultados mostraron alta correlación entre los datos del sensor y del termómetro de vidrio ( $r^2=0.95$ ). La constante de proporcionalidad en la ley de enfriamiento fue  $0.0393 \text{ min}^{-1}$  con los datos del sensor y  $0.0399 \text{ min}^{-1}$  con los datos del termómetro de Vidrio.

## INTRODUCCIÓN

El monitoreo de parámetros ambientales en el agua, el suelo o el aire de espacios exteriores e interiores es importante porque permite evaluar el estatus de un sistema. Por ejemplo, la temperatura (T) y la humedad relativa (HR) del aire de los espacios

---

<sup>1</sup>División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, kilómetro 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas, Entronque Bosques de Saloya, Villahermosa, 86039, Tabasco, México;

<sup>2</sup> División Académica de Ciencias Básicas (DACB). sergiorhe@hotmail.com

interiores, como las aulas escolares, son una medida del confort ambiental del espacio. Estos dos parámetros se han medido con éxito con dos modelos comunes de sensores digitales de temperatura y humedad relativa conocidos como DHT. Estos sensores son económicos y de fácil adquisición (Aizebeokhai *et al.*, 2018). Además, la programación en código Arduino es sencilla y hay mucho soporte en línea gratuito que orientan sobre el tipo de paquetería que es específica para cada sensor. En los invernaderos también es importante llevar un control de la temperatura y la humedad relativa, ya que los cambios en estos parámetros pueden influir en el desarrollo de los cultivos. Por tal motivo, en vez de la medición manual se está implementando la medición automática con sensores económicos y se ha comprobado que son adecuados para llevar un control preciso de las condiciones ambientales en un invernadero (Aziz *et al.*, 2009; Lugo, Villavicencio & Díaz, 2014; Mamani, Villalobos & Herrera, 2017).

Las mediciones de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en cuerpos de agua costeros son importantes debido a la sensibilidad de las especies a estos parámetros relacionados con la calidad del agua. Sin embargo, el monitoreo con equipo comercial puede ser costoso para organizaciones pequeñas de productores locales. Esto ha motivado el desarrollo de sondas de bajo costo, robustas (debido a la naturaleza dinámica y corrosiva del medio ambiente) y fáciles de operar y mantener. Este tipo de dispositivos de monitoreo se ha implementado en la medición de múltiples parámetros como la temperatura, salinidad y posicionamiento global en aguas costeras y en la construcción de boyas con sensores capaces de detectar los niveles de estratificación en el cuerpo de agua (Lockridge *et al.*, 2016; Schmidt *et al.*, 2018).

Debido a los avances en las tecnologías de comunicación inalámbrica, ha sido posible la creación de redes de sensores pequeños y de bajo costo para la medición remota de parámetros ambientales (temperatura, humedad, luz y presión atmosférica) en ambientes naturales (Fauzi & Shazali, 2012). Para la comunicación inalámbrica, algunas redes han utilizado los nodos del módulo inalámbrico conocido comúnmente como *XBee* para interconectar y comunicar dispositivos entre sí. Este módulo se comunica mediante el protocolo de comunicación inalámbrica conocido como *ZigBee* y



en combinación con Arduino se ha usado en el procesamiento y almacenamiento local de los datos o en el almacenamiento combinación remoto con un ordenador sencillo conocido comercialmente como *Raspberry Pi* (Raghavan & Shahnasser, 2015).

Existe mucho equipo comercial para el monitoreo automático de variables ambientales, pero cuando un proyecto de investigación tiene recursos limitados o representa una iniciativa de investigación sin apoyo económico, la adquisición de tales equipos no es viable. Actualmente existe la tendencia a implementar dispositivos de monitoreo usando sensores ambientales de bajo costo y hardware libre como el microcontrolador Arduino, que mediante programación recolecta la lectura de los sensores. El monitoreo ambiental con software y hardware de bajo costo es una vía para respaldar investigación innovadora tanto para investigadores como para estudiantes, ya que los componentes son de fácil adquisición y existe mucho soporte en línea. Por todo esto, el objetivo de este trabajo fue diseñar y desarrollar un dispositivo de bajo costo para la medición de la temperatura de un líquido en reposo y probarlo con la determinación de la constante de proporcionalidad de la ley de enfriamiento de Newton. Este trabajo sentará las bases para el diseño y desarrollo de dispositivos electrónicos para el monitoreo de parámetros ambientales en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBioI), fortalecerá la capacidad tecnológica de los egresados y sus competencias profesionales. Los objetivos fueron desarrollar un dispositivo de bajo costo para la medición automática de la temperatura de un líquido confinado en un recipiente y determinar la constante de proporcionalidad de la ley de enfriamiento de Newton en un experimento donde se deja enfriando agua calentada previamente en un microondas utilizando el dispositivo desarrollado. La meta fue obtener un dispositivo compacto para el monitoreo automático de la temperatura de un líquido en reposo.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

**Construcción del dispositivo.** Para desarrollar el dispositivo se utilizó un sensor digital de temperatura de líquidos modelo DS18B20 en la versión de sonda impermeable, un módulo lector de tarjetas microSD, una pantalla de cristal líquido (LCD,



Di Justo, 2012). Finalmente, el dispositivo de la figura 1 se colocó en una carcasa de cartón reciclable para hacerlo portátil (Figura 2).

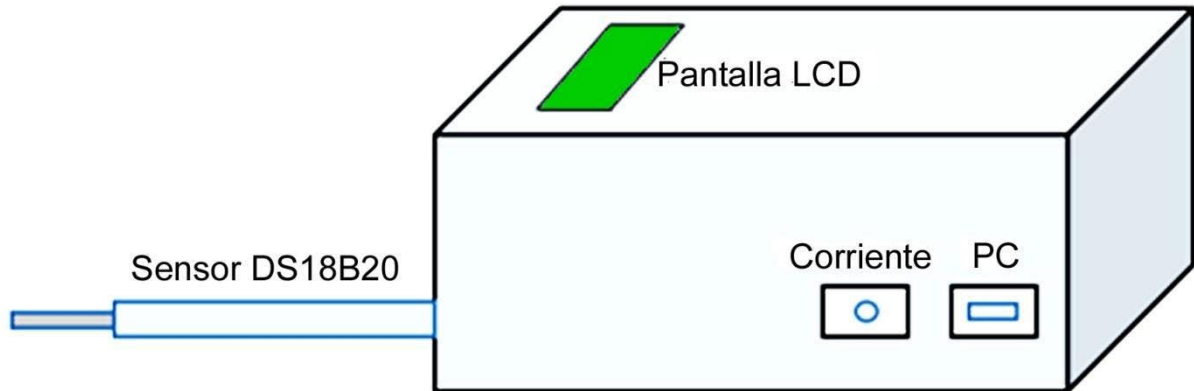


Figura 2. Aspecto del dispositivo sensor de temperatura de líquido.

**Experimento para determinar la constante de proporcionalidad de la ley de enfriamiento de Newton.** El agua se calentó en un microondas y luego se depositó en un recipiente de porcelana. Se midió la temperatura inicial del agua caliente y la temperatura ambiente de la habitación donde se realizó el experimento de enfriamiento con una consola Vantage Vue marca Davis Instruments, modelo 6250M que es un componente de una estación meteorológica portátil de la DACBiol. Todo el experimento duró 1.8 h (108 minutos). Con los datos obtenidos se calculó la constante de proporcionalidad  $\lambda$  de la ley de enfriamiento de Newton (Ecuación 1), cuya solución implícita se muestra en la ecuación 2.

$$\frac{dT}{dt} = \lambda(T - T_a) \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\ln(T - T_a) = \ln(T_i - T_a) + \lambda t \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

$T_a$  es la temperatura ambiente del cuarto dónde se realizó el experimento de enfriamiento,

$T_i$  es la temperatura inicial del agua caliente,

$T$  es la temperatura al instante  $t$  y

$\ln$  indica que a la diferencia  $(T - T_a)$  se le calcula su logaritmo natural.

La forma lineal de la ecuación 2 resultó adecuada para determinar la constante de proporcionalidad,  $\lambda$ , ya que una gráfica de  $\ln(T-T_a)$  contra  $t$  es una línea recta. Se realizó regresión lineal por mínimos cuadrados y se estimó el valor de la constante  $\lambda$  como la pendiente de la recta de regresión. El análisis de los datos y la regresión lineal se realizaron en R (The R Foundation for Statistical Computing) con RStudio (RStudio, Inc.).

También se registró la temperatura del agua y de la superficie exterior del recipiente de porcelana con un termómetro de vidrio y un termómetro infrarrojo digital tipo pistola modelo HER-427 respectivamente, con el objetivo de validar los datos del dispositivo, mediante un análisis de correlación.

## **RESULTADOS**

La temperatura inicial del agua fue 65 °C y la de la taza de porcelana en la superficie exterior fue de 62.6 °C. La temperatura ambiente de la habitación donde se realizó el experimento fue en promedio 29 °C. La figura 3 muestra el comportamiento temporal de la temperatura de enfriamiento del agua contenida en el recipiente de porcelana. Los datos corresponden a las mediciones con el dispositivo electrónico y el termómetro de vidrio. En la misma gráfica se muestra la variación de la temperatura exterior del recipiente que se midió con el termómetro infrarrojo. Se puede notar que, al aumentar el tiempo, la temperatura del agua y del recipiente en su exterior descendió gradualmente, como se esperaba. Las mediciones del sensor y del termómetro de vidrio fueron similares entre los 20 minutos y los 80 minutos transcurridos. El coeficiente de correlación fue de 0.95 indicando una fuerte relación entre las dos mediciones.

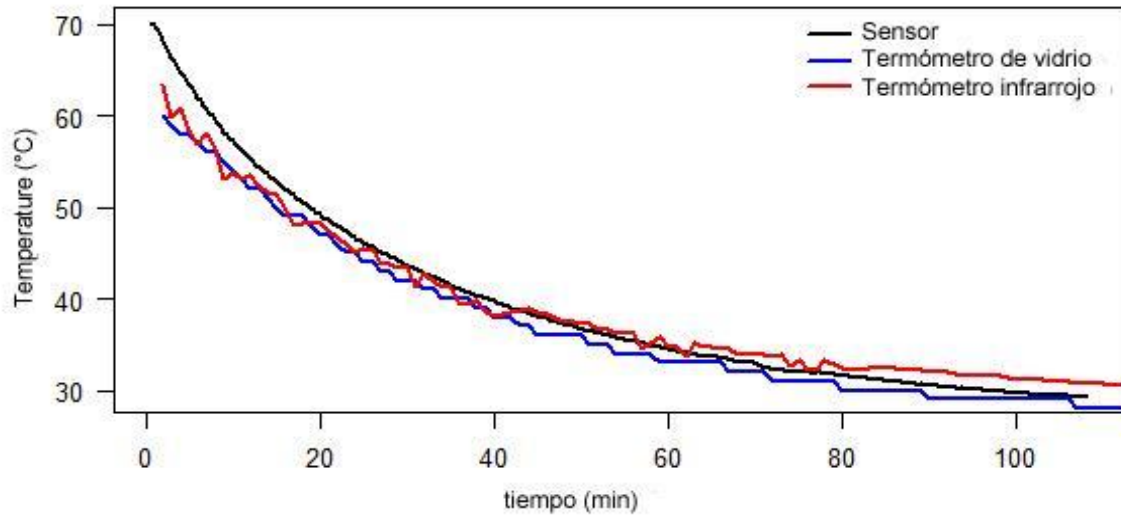


Figura 3. Temperatura de enfriamiento del agua y de la taza de porcelana

La figura 4 muestra el comportamiento logarítmico de la diferencia  $T-T_a$  contra el tiempo transcurrido (Ecuación 2) y el modelo de línea recta ajustado. El valor del coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.97$ ) es indicativo de un buen ajuste. A partir de este modelo, la constante de proporcionalidad en la ley de enfriamiento de Newton asociada al enfriamiento del agua fue  $\lambda=0.0393 \text{ min}^{-1}$ .

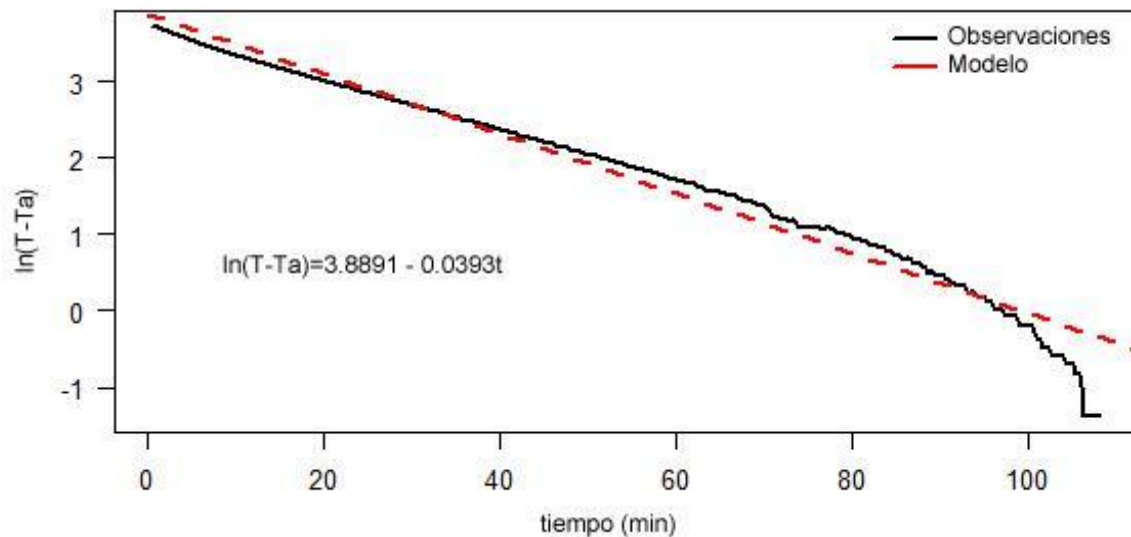


Figura 4. Comportamiento de  $\ln(T-T_a)$  contra el tiempo y modelo lineal ajustado a los datos.

El modelo de regresión obtenido con los datos registrados por el termómetro de vidrio fue:  $\ln(T-T_a) = 3.7153 - 0.0399 \cdot t$  con un  $R^2$  de 0.97. Esto significa un  $\lambda = 0.0399 \text{ min}^{-1}$ . Como vemos la constante  $\lambda$  obtenida con los datos del termómetro de vidrio es parecida a la obtenida con los datos del dispositivo electrónico, indicando que el dispositivo funcionó adecuadamente como se ve también en las gráficas de la figura 3.

## DISCUSIÓN

El dispositivo desarrollado con Arduino fue adecuado para llevar un registro de los datos de la temperatura de enfriamiento del agua ya que estos datos se almacenaron automáticamente en una tarjeta microSD que posteriormente se extrajo para recopilar la información. Al inicio del experimento la lectura visual de la temperatura indicada por el termómetro de vidrio fue adecuada. Sin embargo, conforme transcurrió el tiempo, estas lecturas se parecieron entre sí debido principalmente a la incertidumbre asociada a la lectura manual, que es 100 % visual. Esto indicó que la medición automática de temperatura con dispositivos electrónicos es ventajosa, aun en experimentos tan sencillos como el aquí descrito.

En este trabajo, el microcontrolador Arduino se programó solo para tomar lecturas de temperatura del sensor DS18B20 y guardarlas automáticamente en un archivo de texto para su posterior análisis. Sin embargo, la placa Arduino se puede programar para que controle y obtenga las lecturas de múltiples sensores conectados a la placa. Esta es la razón por la que ha resultado adecuado para el diseño de sistemas de monitoreo de múltiples parámetros de calidad del agua (Zainol *et al.*, 2017). Otra aplicación del microcontrolador Arduino es como dispositivo de control. Por ejemplo, en las centrales térmicas un sensor de temperatura monitorea la temperatura en una caldera y cuando esta excede el límite de seguridad, se acciona una válvula liberadora de presión (Surya & Singh, 2015). Hay otras aplicaciones más sencillas donde la medición y registro automático se combinan con un sistema de alerta (como en un

invernadero) que acciona una alarma cuando la temperatura o la humedad relativa del aire, se desvían de un valor crítico (Srivastava, Kesarwani & Dubey, 2018).

Es indiscutible que existen aplicaciones muy interesantes con Arduino. En estudios posteriores se diseñará un dispositivo para el monitoreo de la temperatura y humedad relativa del aire e intensidad luminosa en un invernadero de la DACBiol. También se desarrollará un dispositivo sencillo para medir la concentración de metano cerca de una planta de tratamiento de aguas residuales.

## CONCLUSIONES

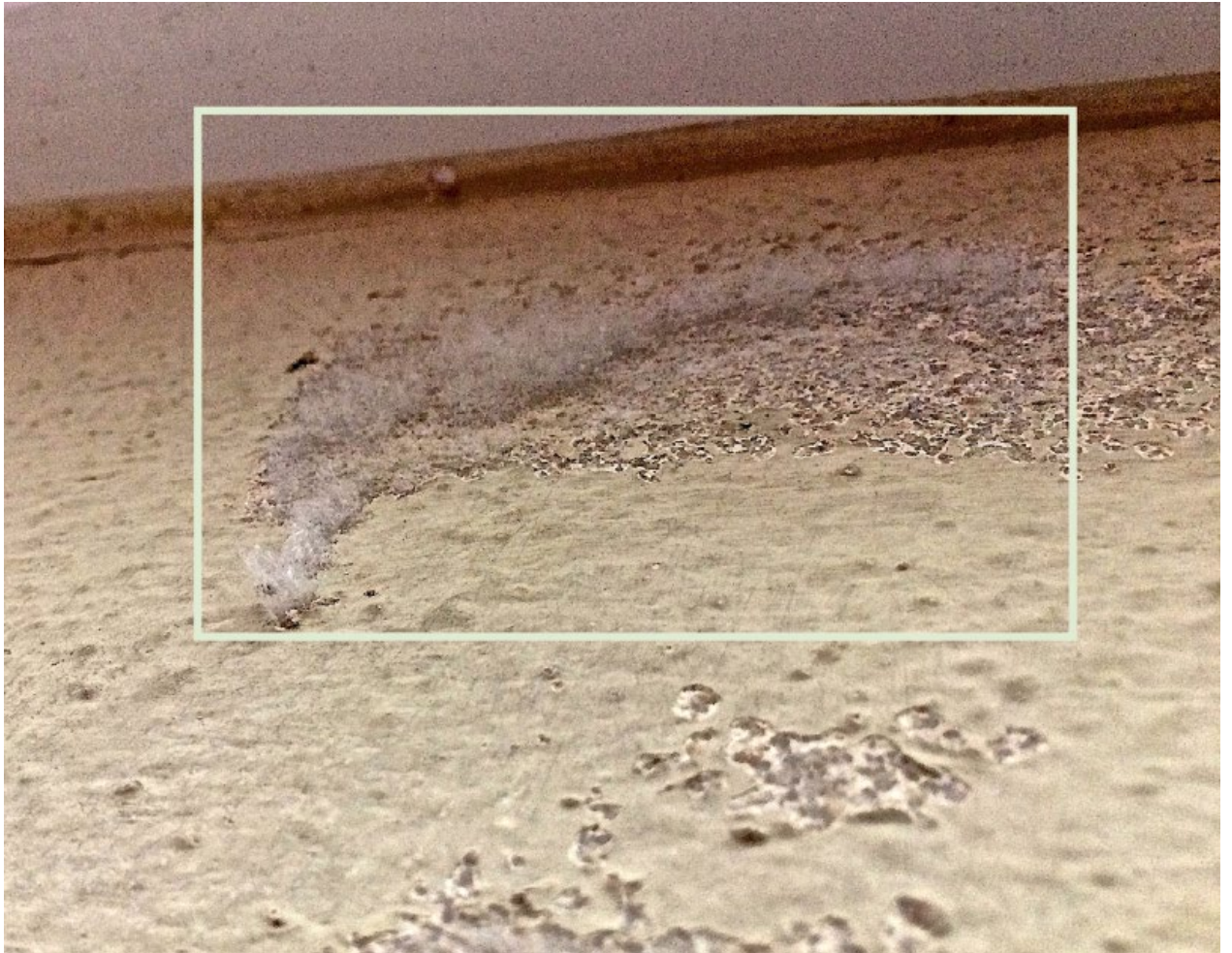
El dispositivo desarrollado con Arduino fue adecuado para el monitoreo automático, durante casi dos horas, de la temperatura de enfriamiento de agua líquida previamente calentada en un microondas. La experiencia adquirida en el desarrollo de este trabajo se utilizará para realizar otros experimentos con fines educativos o emplear la tecnología de Arduino como parte de un proyecto de investigación.

## REFERENCIAS

- Aziz, IA; Hasan, MH; Ismail, MJ; Mehat, M; Samiha, N & Haroon (2009). Remote Monitoring in Agricultural Greenhouse Using Wireless Sensor and Short Message Service (SMS). *Int J of Eng & Tech IJET-IJENS*, 9(9): 35-43. Recuperado de «<http://ijens.org/1937091%20IJET.pdf>»
- Aizebeokhai, AP; Ekumatalor, IO; Oyeyemi, KM & Obafemi, NL (2018). Construction of a portable cost-effective temperature and humidity measuring device. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 173(2): 1-6. Recuperado de «<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/173/1/012006>»
- Fauzi, MO & Shazali K (2012). Wireless Sensor Network Applications: A Study in Environment Monitoring System. *Procedia Engineering*, 41(1): 1204–1210. Recuperado de «<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812027026>»
- Gertz, E & Di Justo, P (2012). *Environmental monitoring with arduino. Building simple devices to collect data about the world around us*. Sebastopol, Estados Unidos de América: O’Reilly & Maker Press.
- Lugo, OE; Villavicencio, GA & Díaz, SA (2014). Paquete tecnológico para el monitoreo ambiental en invernaderos con el uso de hardware y software libre. *Terra Latin*, 32(1): 77-84. Recuperado de «<https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/issue/view/4>»
- Lockridge, G; Dzwonkowski, B; Nelson, R & Powers, S (2016). Development of a Low-Cost Arduino-Based Sonde for Coastal Applications. *Sensors*, 16(4): 1-23. Recuperado de «<https://www.mdpi.com/1424-8220/16/4/528>»

- Mamani, M; Villalobos, M & Herrera, R (2017). Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola. *Ingeniare. Rev Chil Ing*, 25(4): 599-618. Recuperado de «[https://www.ingeniare.cl/index.php?option=com\\_ingeniare&view=vv&vid=94&lang=es](https://www.ingeniare.cl/index.php?option=com_ingeniare&view=vv&vid=94&lang=es)»
- Raghavan, V & Shahnasser, H (2015). Embedded Wireless Sensor Network for Environment Monitoring. *J Adv in Comp Networks*, 3(1): 13-17. Recuperado de «<http://www.jacn.net/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=39&id=168>»
- Schmidt, W; Raymond, D; Parish, D; Ashton, IG; Miller, IP; Campos, JA; Jamie, D & Shutler, JD (2018). Design and operation of a low-cost and compact autonomous buoy system for use in coastal aquaculture and water quality monitoring. *Aquac Eng*, 80(1): 28-36. Recuperado de «<https://www.sciencedirect.com/journal/aquacultural-engineering/vol/80/suppl/C>»
- Srivastava, D; Kesarwani, A & Dubey, S (2018). Measurement of Temperature and Humidity by using Arduino Tool and DHT11. *Intl Res J Eng Tech (IRJET)*, 5(12): 876-878. Recuperado de «<https://mail.irjet.net/volume5-issue12>»
- Surya, S & Singh, CS (2015). Water Level Indicator with Temperature Sensor. *IOSR J Elec and Electron Eng (IOSR-JEEE)*, 10(3): 65-71. Recuperado de «[http://www.iosrjournals.org/iosr-jeee/pages/10\(3\)Version-1.html](http://www.iosrjournals.org/iosr-jeee/pages/10(3)Version-1.html)»
- Zainol, SA; Harun, A; Mohyar, SN; Sapawi, R & Ten, SY (2017). Design of aquaponics water monitoring system using Arduino microcontroller. *AIP Conf Proceed*, 1885(1). Recuperado de «[https://www.researchgate.net/publication/320063086\\_Design\\_of\\_aquaponics\\_water\\_monitoring\\_system\\_using\\_Arduino\\_microcontroller](https://www.researchgate.net/publication/320063086_Design_of_aquaponics_water_monitoring_system_using_Arduino_microcontroller)»





**Fotografía:** Moho *Chrysonilia sitophila* en pared interior. Alejandra Cid Martínez

# CAPÍTULO 8

# Edificios no saludables: evaluación preliminar

Marcela Alejandra Cid-Martínez  
Yoana Alejandra González-Sánchez  
Reyna Lourdes Fócil-Monterrubio<sup>1</sup>

## Resumen

La calidad de aire que respiramos en un ambiente intramuros contiene biocontaminantes que en altas concentraciones pueden afectar la salud y el confort de sus ocupantes. Las enfermedades alergorespiratorias asociadas a aquellos, dificultan aún más el desempeño de sus ocupantes. Las personas pasamos diariamente entre el 58 al 90 % de nuestras actividades en un espacio cerrado, razón por la cual, surge el interés en saber a qué tipo de aerosol estamos expuestos y al efecto que podemos presentar al desempeñar nuestras actividades cotidianas. Los factores y actividades ambientales como mala ventilación, exceso de humedad, una iluminación pobre o en ocasiones mucho tiempo expuestos a una iluminación artificial y una deficiente o nula limpieza en los espacios intramuros estudiados afectaron a las personas al generar enfermedades respiratorias, cutáneas, dolores de cabeza, migraña entre otros más.

## INTRODUCCIÓN

La calidad de aire intramuros se refiere al aire dentro de un espacio cerrado no industrial como viviendas, áreas de trabajo, colegios, hospitales entre otros más, en los cuales existen contaminantes orgánicos, inorgánicos, material particulado (PM) y biocontaminantes (ácaros, bacterias, propágulos fúngicos, pólenes y virus) que generan una mala calidad en estos espacios, afectando la salud de sus habitantes (rinitis

---

<sup>1</sup> División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, kilómetro 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas, Entronque Bosques de Saloya, Villahermosa, 86039, Tabasco, México.  
alexacid@hotmail.com

alérgica, asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)). Las concentraciones de biocontaminantes intramuros en ocasiones suelen ser las mismas que aquellas que encontramos en el exterior (Guardino, 1998; Observatorio de salud y medio ambiente de Andalucía [OSMAN], 2011). Son justamente las personas las que valoran su calidad a través de la respiración como limpio o fresco o viciado o contaminado reaccionando a algún contaminante (Caballero, Cartín & Alfaro, 2007). El interés de saber la calidad de aire que se puede respirar en ambientes intramuros tiene sus inicios en los años 60, pero no fue sino una década después que se establecieron trabajos formales con una metodología; a finales de los 80 y principios de los 90, se tuvieron bases de datos de estudios epidemiológicos primero en EUA, luego en países europeos y posteriormente en otras partes del planeta (OMS, 2000). La Organización Mundial de la Salud en 1982, definió el “*Sick Building Syndrome*” o “Síndrome del Edificio Enfermo” como: un conjunto de molestias y enfermedades originadas o estimuladas por la mala ventilación, la descompensación de temperaturas, las partículas en suspensión, los gases y vapores de origen químico y los biocontaminantes, estos agentes producen, en al menos un 20% de los ocupantes, un conjunto de síntomas inespecíficos, sin que sus causas estén perfectamente definidas y que aparecen a las horas de permanecer en el interior de un edificio y mejoran tras alejarse de dicho ambiente (Silvestre & Bueno, 2009; Lizcano-Aquino *et al.*, 2017). En Tabasco, González- Sánchez (2014), Méndez-Cázares (2017) y López (2018) concluyeron que las concentraciones de bacterias y propágulos fúngicos intramuros no son para preocuparse, sin embargo, cabe destacar que cada estudio realizado tiene un método diferente. En México no existen Normas de Calidad Intramuro para biopartículas. El objetivo de este trabajo fue realizar una evaluación preliminar de la percepción de condiciones ambientales en espacios intramuros en edificios de interés público para establecer medidas de respuesta en el mantenimiento de un edificio sano. La meta de la investigación fue generar con los resultados una guía práctica para mejorar la calidad del aire intramuros en edificios de interés público.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Debido a que el ser humano pasa un promedio de 58 y 90 % (Guardino, 1998; Caballero *et al.*, 2007; González-Sánchez, 2014) de su tiempo en un ambiente intramuro, ya sea en casa, trabajo u ocio, es de vital importancia mantener esos espacios en óptimas condiciones. Con base en las notas técnicas de prevención (NTP):

NTP 290: El síndrome del edificio enfermo: cuestionario para su detección

NTP 380: El síndrome del edificio enfermo: cuestionario simplificado

Se diseñó una encuesta con 19 reactivos, que fue aplicada a 47 personas siguiendo los métodos de Ortiz-Terán & Haro-Haro (2015), Lizcano *et al.* (2017), Revelo-Basante, Mendoza-Mendoza & Machado-Reyes (2017) y Conrado *et al.* (2016); la selección consideró a personas que tienen tres meses o más laborando en siete edificios, que comprende casa-habitación, escuelas, oficinas, bibliotecas, supermercados, hospitales y hoteles. Con los resultados obtenidos se recopiló la información para conocer la sanidad ambiental intramuros. Se realizó un análisis estadístico no paramétrico Kolmogorov-Smirnov (Legendre & Legendre, 2000) para definir la confiabilidad y validez de los resultados obtenidos de los reactivos.

**Encuesta.** ¿Sabías que el ser humano pasa cerca del 58 al 90 % de su tiempo en un entorno cerrado? Con el propósito de crear conciencia acerca de qué tanto afecta la calidad del aire en interiores a nuestra salud y determinar si pasas tu tiempo en un **Edificio Enfermo**, se ha creado esta encuesta.

- Sexo: M\_\_\_ F\_\_\_
- Edad: \_\_\_\_\_
- Antigüedad en su empleo: \_\_\_\_\_
- ¿Padece o ha padecido alguna enfermedad? SI\_\_\_ NO\_\_\_
- En caso de que sea sí, mencionar cuál es.  
\_\_\_\_\_
- ¿Qué tratamiento lleva o llevó?  
\_\_\_\_\_

Instrucciones: Marca con una "x" en el recuadro según sea tu respuesta a la pregunta.

1. ¿Sabe lo que es calidad del aire en interiores? si\_\_\_ no\_\_\_

Ecotecnias y sustentabilidad ambiental en el trópico húmedo

2. ¿Sabe lo que es el Síndrome del Edificio Enfermo? si \_\_\_\_\_ no \_\_\_\_\_
3. ¿Sabe que existen contaminantes biológicos como hongos, bacterias y virus que pueden afectarnos en nuestro lugar de trabajo y descanso? si \_\_\_\_\_ no \_\_\_\_\_
4. ¿Cuál es su lugar de trabajo?

Hospital		Biblioteca		Oficina	
Supermercado		Escuela o colegio		Ama de casa	
Hotel					
Cargo o Función:					
Horario de trabajo:					

5. Además de su trabajo, ¿Qué promedio del día pasa en un espacio cerrado (casa, actividad cultural, actividad deportiva, terapia, etc.)?

8 horas		16 horas		+20 horas	
12 horas		20 horas		otros	

6. Marque con una cruz, los lugares que frecuente y anota el tiempo (en horas) que pasa en ellos.

Hospital		Biblioteca		Trabajo		(gimnasio, cine, terapia, etc.)	
Supermercado		Escuela					

7. ¿Tiene mascotas o plantas en casa u oficina?

Si		No	
¿Qué mascota tiene y en qué lugar se encuentra (n)?			
¿Qué plantas tiene y en qué lugar se encuentra (n)?			

Ecotecnias y sustentabilidad ambiental en el trópico húmedo

En caso de marcar NO, menciona por qué.	
---	--

8. ¿Cada cuánto hace(n) limpieza en su espacio de trabajo?

Todos los días		Una vez al mes	
Cada semana		Cada 6 meses	
Cada 15 días		No sé	
¿La limpieza se hace con los empleados afuera o dentro del recinto?			

9. ¿Cómo mantienen limpio su espacio de trabajo?

Sacudir, barrer y trapear		trapear		oleo químicos y aromatizantes	
Barrer y trapear		dir, aspirar, barrer y trapear		pleo químicos	

10. ¿Hay climas en su lugar de trabajo?

11. ¿Funcionan?

12. ¿Cada cuánto limpian sus aires acondicionados, mini Split y/o ventiladores?

mes		6 meses	
año		limpio	

13. ¿Hay presencia de moho en las paredes o techos del edificio?

14. ¿Existen sistemas de extracción del aire en el edificio?

15. ¿Has notado que cuando entras a algún edificio en particular comienzas a estornudar o tener escurrimiento nasal?

Si		No		En caso de marcar SÍ, menciona dónde.	
----	--	----	--	---------------------------------------	--

16. ¿Has oído hablar del Síndrome del edificio enfermo?

Si		No		¿Dónde lo has oído?	
----	--	----	--	---------------------	--

Si trabajas en un hospital...

17. ¿Qué hacen para monitorear calidad de aire en quirófanos u otra sala de hospital?

18. ¿Cada cuánto tiempo monitorean partículas biológicas en el aire?

19. ¿Tienen algunas normas que involucre la evaluación acerca de la calidad del aire?

Sugerencias o comentarios:

---

## RESULTADOS

De los 19 reactivos, los últimos tres no fueron respondidos por cuestiones laborales. La primera pregunta, saben lo que es calidad de aire en interiores, el 55 % dijo que, si tenía conocimiento, el 14 % mencionó saber la definición de síndrome del edificio enfermo, mientras que el 95 % sabe que existen diversos contaminantes que pueden llegar a afectar nuestra salud. En cuanto al sitio donde laboran, el 0.6 % trabaja en una biblioteca, 17 % trabaja en oficinas y otro 17 % en hoteles, el 8 % en el supermercado, el 10 % es ama de casa, el horario laboral dominante es de 7 a 16 h, en el cual hay registrado 21 %, con un total de 9 h diarias.

Además de su trabajo, ¿Qué promedio del día pasa en un espacio cerrado (casa, actividad cultural, actividad deportiva, terapia, etc.)? el 4 % no pudo responder, dijeron que no recordaban exactamente el número de horas, las respuestas del resto de los entrevistados se muestran en el Tabla 1.

Tabla1. Porcentaje de horas que pasan en un ambiente interior las personas además de su trabajo.

Entrevistados	4%	8%	14%	8%	8%	8%	6%	19%	21%
Horas	8	10	12	14	15	16	18	20	22

Después de las 18 horas se refiere a los fines de semana, donde las personas pueden realizar otras actividades en los interiores.

En cuanto a si tienen mascotas o plantas en casa u oficinas, el 61 % dijo tener animales como perros, aves y conejo; mientras que, tan solo 2 % tiene plantas con flores en sus lugares de descanso o laboral.

El 95 % respondió que hacen la limpieza diaria en sus espacios de trabajo; 85 % permanece en el interior mientras limpia, 12 % espera fuera y 2 % realiza la limpieza antes de que llegue el personal a trabajar. Respecto a la forma como hacen la limpieza, el 55 % barre y trapea, en cuanto a si utilizan químicos y aromatizantes, el 100 % dijo que si los empleaba.

De los encuestados, el 68 % tiene aires acondicionados funcionales en sus espacios de trabajos y cada 6 meses realiza la limpieza de los equipos. Se les cuestionó si había sistemas de extracción de aire en sus lugares de trabajo, el 65 % dijo que no contaba con ellos, en el 19 % de los edificios hay presencia de moho en alguna parte. En cuanto a estornudos y escurrimientos nasales por entrar a un determinado espacio, el 19 % dijo que sí lo presentaba y que los causantes eran las plantas, el polvo, aromatizantes y los lugares donde se presentaban eran en su casa, en el hospital, en el cine y en el trabajo. Finalmente, el 85 % de los encuestados no ha oído hablar sobre el Síndrome del Edificio Enfermo, el 15 % sí y lo han hecho por medio de familia, trabajo, pláticas, difusión y por esta encuesta.



## DISCUSIÓN

Los factores ambientales como limpieza, ventilación, humedad e iluminación en los espacios intramuros estudiados afectan a los ocupantes en el desempeño de sus funciones, estos resultados coinciden con lo reportado por Lizcano *et al.* (2017), Revelo *et al.* (2017), Ortiz-Terán & Haro-Haro (2015) y Conrado *et al.* (2016). La pobre iluminación y ventilación incrementan la humedad en el interior de edificios generando la aparición de moho y focos micóticos, cuya concentración de esporas generan problemas respiratorios. La limpieza como eliminar la basura y quitar el polvo de los espacios intramuros, es necesaria porque la humedad de la basura propicia la aparición de bacterias, así mismo el polvo que se deposita en los filtros sintéticos o de vidrio en los aires acondicionados, de los ventiladores, de inmobiliarios y de las cortinas o persianas generan alergias debido a las heces de los ácaros y los mohos, además de las bacterias que se quedan sobre la superficie y que producen infecciones en el humano (Conrado *et al.*, 2016; Lizcano *et al.*, 2017; Revelo *et al.*, 2017). Una mala ventilación incrementa el CO<sub>2</sub> provocando un aire viciado que posiblemente induzca dolores de cabeza, además de ser un factor que limita el confort de sus ocupantes. Finalmente, no solo el espacio o lugar de trabajo influye en la aparición de síntomas generados por un edificio enfermo, sino también las cuestiones psicoafectivas como el estrés laboral o no laboral, susceptibilidades individuales y condiciones familiares, que de manera importante incrementen o disminuyan los síntomas anteriormente descritos.

### **Guía práctica para mejorar la calidad de aire intramuros de interés público.**

Respecto a los contaminantes biológicos que modifican la calidad del aire que respiramos, no existen criterios técnicos para su evaluación, control y prevención en nuestro país, por lo tanto, esta guía práctica está dirigida a cualquier persona que diseñe, sea responsable y labore en algún edificio de interés público. Los siguientes puntos son sencillos y fáciles de realizar:

## Ecotecnias y sustentabilidad ambiental en el trópico húmedo

1. La limpieza se deberá hacer todos los días, antes de que lleguen los trabajadores.
2. Una vez a la semana se debe sacudir y limpiar a fondo el inmobiliario, los equipos de laboratorio, de cómputo, de impresión, anaqueles, libreros, entre otros para evitar la presencia de mohos.
3. El uso de químicos y aromatizantes deberá ser moderado porque pueden ser irritantes para los ocupantes sensibles de un edificio y por otro lado pueden enmascarar la humedad y la aparición de moho.
4. La limpieza y mantenimiento de los aires acondicionados y ventiladores deberá ser cada 6 meses. El mantenimiento preventivo, como la limpieza, mejora la eficiencia de los equipos, asegura un adecuado funcionamiento de estos y previene que el sistema contamine espacios ocupados por personas, operando correctamente con un adecuado control térmico y ventilación adecuada minimizando el consumo de energía.
5. Mejorar la ventilación y la iluminación natural de edificios debido a que es la adecuada para el confort de sus ocupantes.
6. Prohibir fumar en el interior.
7. Mejorar en el diseño y planificación de los edificios con miras a controlar la iluminación, el ruido, la humedad, la ventilación, así como de los materiales (muebles, recubrimientos de suelos, placas de techo, pinturas, adhesivos, selladores y también materiales usados en los sistemas de ventilación mecánicos, así como los aislantes acústicos, térmicos o de incendios, como los elementos interiores como muebles, accesorios, equipos para su decoración y acondicionamiento, etc., pueden emitir productos químicos (normalmente compuestos volátiles orgánicos-VOC's) empleados en su construcción y en la decoración.
8. Prohibir llevar al trabajo mascotas, por la descamación de la piel, alergias al pelo.
9. Usar aspiradoras para evitar suspender el polvo en el interior.
10. Monitorear el aire por lo menos una vez al mes.

11. Elaborar y socializar una lista de sustancias químicas que deban prohibirse o regular su uso.
12. Promover pláticas con los ocupantes acerca de la salud y prevención.

## CONCLUSIONES

1. Se requiere un enfoque integrado de los problemas relativos a la gestión de la calidad del aire en espacios cerrados de edificios donde se desempeñan actividades laborales, puesto que en los síntomas más descritos y con mayor prevalencia dentro de la población laboral son respiratorios (irritación de nariz y garganta, irritación ocular, entre otros más).
2. La diferencia del tiempo laboral y ocupacional en que permanece confinada una persona, así como una mala calidad del aire y el inadecuado control de los factores psicosociales está muy relacionado con la aparición de síntomas y signos característicos del síndrome de edificio enfermo.
3. Se requiere mayor compromiso de los ocupantes de cada espacio para garantizar una Calidad de aire satisfactoria en cada recinto por nuestro propio bienestar.

## REFERENCIAS

- Caballero, M; Cartín, V & Alfaro, M (2007). Calidad de aire en dos centros hospitalarios y ocho clínicas veterinarias en Costa Rica. *Rev. Costarric. Salud Pública*, 16(30), 17-26. Recuperado en: «<https://www.scielo.sa.cr/pdf/rcsp/v16n30/3518.pdf>»
- Conrado, M; Cañizales, L; Valderrama Z; Vergara, S & Pajaro, M (2016). Síndrome del edificio enfermo: estado del arte, periodo 2005-2015. Universidad CES, Colombia. Recuperado en: «[http://bdigital.ces.edu.co:8080/repositorio/bitstream/10946/4703/2/Sindrome\\_Edificio\\_Enfermo\\_Estado\\_del\\_Arte.pdf](http://bdigital.ces.edu.co:8080/repositorio/bitstream/10946/4703/2/Sindrome_Edificio_Enfermo_Estado_del_Arte.pdf)»
- González Sánchez, I (2014). *Evaluación Aeromicológica de Calidad de Aire en Intramuros* (Tesis de Licenciatura en Ingeniería Ambiental). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Tabasco, México.
- Guardino, X (1998). *Calidad del aire interior*. Enciclopedia de la salud y seguridad en el trabajo (44.1-44.34). Madrid: Ministro de trabajo y asuntos sociales. Recuperado: «<https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+44.+Calidad+del+aire+interior>»

- Legendre, P & Legendre, L (2000). *Numerical Ecology* (2nd ed., p. 853). Developments in Environmental Modelling. New York, USA: Elsevier.
- Lizcano Aquino, J; Palmer Morales, L; Quiñones Montelongo, K; Medina Ramírez, M & López Palmer D (2017). Sintomatología causada por el síndrome del edificio enfermo en trabajadores de la salud en ambiente hospitalario. *Revista cubana de salud y trabajo*, 18(1), 52-56.
- López, N (2018). *Concentración de Propágulos Fúngicos Presentes en el Aire de Ambientes Intramuros de la DACBioI-UJAT* (ponencia presentada en XII Congreso Nacional de Micología). Veracruz, México.
- Méndez Cázares, M (2017). *Evaluación aerobiológica del aire en ambientes intra y extramuros en la División Académica de Ciencias Biológicas*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa.
- Nota Técnica Preventiva 290. s/f. *El Síndrome del Edificio Enfermo: cuestionario para su detección*. Ministerio de trabajo y asuntos sociales, España e Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. «[https://www.cso.go.cr/legislacion/notas\\_tecnicas\\_preventivas\\_insht/NTP%20290%20%20EI%20sindrome%20del%20edificio%20enfermo%20cuestionario%20para%20su%20deteccion.pdf](https://www.cso.go.cr/legislacion/notas_tecnicas_preventivas_insht/NTP%20290%20%20EI%20sindrome%20del%20edificio%20enfermo%20cuestionario%20para%20su%20deteccion.pdf)»
- Nota Técnica Preventiva 380. s/f. *Síndrome del Edificio Enfermo: cuestionario simplificado*. Ministerio de trabajo y asuntos sociales, España e Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. «[https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp\\_380.pdf](https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_380.pdf)»
- Organización Mundial de la Salud [OMS] (2000). *Guías para la calidad del aire*. 239 p. «<http://www.cepis.opc-oms.org>»
- Ortíz Terán, F & Haro Haro, B (2015). Síndrome del edificio enfermo en dos bloques académicos de una institución de educación superior. *Enfoque UTE* (6)2: 15-24.
- Observatorio de salud y medio ambiente de Andalucía [OSMAN] (2011). *Calidad del aire interior*. España. Recuperado: «[https://www.diba.cat/c/document\\_library/get\\_file?uuid=c7389bc9-6b7b-4711-bdec-3ead4bc9a68b&groupId=7294824](https://www.diba.cat/c/document_library/get_file?uuid=c7389bc9-6b7b-4711-bdec-3ead4bc9a68b&groupId=7294824)»
- Revelo-Basante, SH; Mendoza-Mendoza, HL & Machado-Reyes, MI (2017). *Síndrome del Edificio Enfermo (SEE)*, Facultad Nacional de Salud Pública. Recuperado en: «[http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/9387/1/ReveloServio\\_2017\\_S%C3%ADndromeEdificioEnfermo.pdf](http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/9387/1/ReveloServio_2017_S%C3%ADndromeEdificioEnfermo.pdf)»
- Silvestre, E & Bueno, M (2009). *Casa saludable* (p. 260). España: Cúpula.

## Semblanza de autores

### **Anahi Guadalupe Bolaina-García.**

Estudiante de la Licenciatura en Ingeniería Ambiental en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol-UJAT). Actualmente está realizando su práctica profesional en la DACBiol y se ha enfocado en la medición de parámetros ambientales con Arduino y sensores económicos de fácil adquisición.

### **Arturo Valdés Manzanilla.**

Licenciado en Ciencias Atmosféricas, Maestría en Meteorología y Doctor en Geografía. Integrante del Cuerpo Académico Ingeniería y Tecnología Ambiental. Especialidad en investigación en Calidad del aire y Hidrometeorología. ORCID: [0000-0002-6441-9834](https://orcid.org/0000-0002-6441-9834)

### **Carlos Alberto Torres Balcázar.**

Licenciado en Ingeniería Industrial Química, Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental. Profesor - investigador de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol-UJAT). Integrante del Cuerpo Académico Ingeniería y Tecnología Ambiental. Especialidad en investigación en Tratamientos de aguas residuales. ORCID: [0000-0001-8011-6721](https://orcid.org/0000-0001-8011-6721).

### **David Balladares de la Cruz.**

Egresado de Ingeniería Mecánico Electricista, Posgrado en Matemáticas Aplicadas en la División Académica de Ciencias Básicas, UJAT.

### **Gaspar López Ocaña.**

Licenciado en Ingeniería Ambiental, Maestría en Ingeniería y Protección Ambiental y Doctor en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales. Profesor - investigador de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol-UJAT).

Integrante del Cuerpo Académico Ingeniería y Tecnología Ambiental. Especialidad en investigación en Tecnología del Agua. ORCID: [0000-0002-8402-8160](https://orcid.org/0000-0002-8402-8160).

**Guillermo Castañón Nájera.**

Ingeniero Agrónomo en Fitotecnia. Maestría en Ciencias en Fitomejoramiento. Doctor en Ciencias, Genética. Profesor - investigador de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol-UJAT). Integrante del Cuerpo Académico: Biología Genómica. Especialidad en investigación: Biodiversidad y Genética Molecular. ORCID: 0000-0002-1825-0097.

**Jenestey Alexi García García.**

Estudiante de Biología en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol-UJAT).

**José Luis Martínez Sánchez.**

Licenciatura en Biología por la UNAM. Maestría en Ciencias por la UNAM. Doctor en Ecología por la Universidad de Stirling, Escocia. Profesor - investigador de tiempo completo de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol-UJAT). Integrante del Cuerpo Académico Consolidado de Ecología Vegetal y Restauración del trópico húmedo. Especialidad en ecología vegetal del trópico húmedo con énfasis en estructura arbórea, captura de carbono y productividad de selvas.

**Julia María Lesher Gordillo.**

Licenciada en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Doctora en Ciencias en Bioquímica y Biología Molecular. Profesora - investigadora de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol-UJAT). Integrante del Cuerpo Académico: Biología Genómica. Especialidad en investigación en Ecología Molecular. ORCID: 0000-0001-6943-9204

**Liliana Pampillón González.**

Licenciada en Ingeniería Ambiental, Maestría en Ciencias con especialidad en Físicoquímica y Doctora en Ciencias con especialidad en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad por el CINVESTAV. Profesora - investigadora de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología-UJAT). Integrante del Cuerpo Académico Ingeniería y Tecnología Ambiental. Especialidad en investigación en Bioenergía y Biocombustibles. ORCID: [0000-0003-0216-700X](https://orcid.org/0000-0003-0216-700X).

**Lucero Vázquez Cruz.** Licenciada en Biología, Maestría en Ciencias Ambientales. Profesora – investigadora de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología-UJAT). Especialidad en Microbiología sanitaria. ORCID: [0000-0002-2512-9842](https://orcid.org/0000-0002-2512-9842).

**Luisa Cámara Cabrales.**

Licenciatura en Ingeniería Agronómica. Doctor en ecología por la Universidad de Michigan State, Estados Unidos. Profesora - investigadora de tiempo completo de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología-UJAT). Integrante del Cuerpo Académico Consolidado de Ecología Vegetal y Restauración del trópico húmedo. Especialidad en ecología vegetal del trópico húmedo con énfasis en estructura arbórea, captura de carbono y regeneración de selvas en el trópico húmedo de Tabasco y región sureste.

**Marcela Alejandra Cid Martínez.** Licenciatura en Biología, Maestría en Ciencias Biológicas con orientación en sistemática. Profesora - investigadora de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología-UJAT). Especialidad Palinología, Aerobiología y Síndrome del edificio enfermo. ORCID [0000-0002-9284-8927](https://orcid.org/0000-0002-9284-8927)

**María Esther Cea Migenes.** Ingeniero Agrónomo. Maestría en Ciencias: Producción Agrícola. Doctora en Ciencias. Profesora - investigadora de la Universidad Agraria de la Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”. Integrante del Grupo de Investigación: MOBI Materia Orgánica y Bioestimulantes. Especialidad en investigación en Bioestimulantes.

**María de Lourdes Torres Pérez.**

Licenciada en Biología. Técnico Académico de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol-UJAT). Especialidad en Microbiología sanitaria. ORCID: [0000-0003-0812-4043](https://orcid.org/0000-0003-0812-4043).

**Nayelli Gómez.**

Lic. en Ecología por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Maestría en Educación Ambiental por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

**Ofelia Castillo Acosta.**

Licenciatura en Biología por la UNAM. Maestría en Ciencias por la UNAM. Profesora - investigadora de tiempo completo de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol-UJAT). Integrante del Cuerpo Académico Consolidado de Ecología Vegetal y Restauración del trópico húmedo. Especialidad en ecología vegetal del trópico húmedo con énfasis en estructura arbórea, florística y sistemática y muestreos de vegetación de selvas.

**Reyna Lourdes Fócil Monterrubio.**

Licenciada en Biología, UNAM. Maestría en Ciencias. Profesora – investigadora de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol-UJAT). Integrante del Cuerpo Académico Evaluación y Tecnología Ambiental. Especialidad Aerobiología, genotoxicidad, remediación ambiental y entornos virtuales de aprendizaje (OEA).

**Rosa Martha Padrón López.**

Licenciada en Biología, Maestría en Ciencias Ambientales. Profesora – investigadora de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol-UJAT). Especialidad en Microbiología sanitaria. ORCID: [0000-0001-7242-7247](https://orcid.org/0000-0001-7242-7247).



**Rocío López Vidal.**

Licenciada en Ingeniería Química, Maestría en Ingeniería y Protección Ambiental. Profesora - investigadora de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBio-UJAT). Integrante del Cuerpo Académico Ingeniería y Tecnología Ambiental. Especialidad en investigación en Sistemas de tratamientos de aguas y aguas residuales con polímeros naturales.

**Sergio Ramos Herrera.**

Maestro en Ingeniería y Protección Ambiental, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Profesor-Investigador de la División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT. Integrante del Cuerpo Académico Consolidado de Evaluación y Tecnología Ambiental.

**Yasmín Araceli Gálvez Muñoz.**

Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Maestría en Ciencias en Ciencias Agrarias en Producción Agrícola. Doctora en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales.

**Yoana Alejandra González Sánchez.**

Estudiante de Ingeniería Ambiental en la División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT.

Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación  
**Wilfrido Miguel Contreras Sánchez**

Director de Difusión, Divulgación Científica y Tecnológica  
**Pablo Marín Olán**

Jefe del Departamento de Publicaciones no Periódicas  
**Francisco Cubas Jiménez**