

Contribuciones Científicas en Ecosistemas y Contaminación Ambiental 2017



Coordinadores

Rosa Martha Padrón López

Rocío López Vidal



Contribuciones Científicas en Ecosistemas y Contaminación Ambiental 2018

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

José Manuel Piña Gutiérrez
Rector

Rosa Martha Padrón López
*Directora de la División Académica de Ciencias
Biológicas*

Contribuciones Científicas en Ecosistemas y Contaminación Ambiental 2018

Coordinadores

Rosa Martha Padrón López
Rocío López Vidal



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”

Contribuciones Científicas en Ecosistemas y Contaminación Ambiental 2018 / Padrón-López, R.M., López-Vidal, R. (Coords) -- Primera edición. – Villahermosa, Centro, Tabasco: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 2018.

135 páginas -- (Colección: José N. Roviroso. Biodiversidad, desarrollo sustentable y trópico húmedo).

Incluye referencias bibliográficas al final de cada capítulo.

ISBN 978-607-606-486-3

Primera edición, 2018

D. R. © Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Av. Universidad s/n, Zona de la Cultura
Col. Magisterial, C. P. 86040
Villahermosa, Centro, Tabasco.
www.ujat.mx

ISBN: 978-607-606-486-3

El contenido de la presente obra es responsabilidad exclusiva de los autores. Queda prohibida su reproducción total sin contar previamente con la autorización expresa y por escrito del titular, en términos de la Ley Federal de Derechos de Autor. Se autoriza su reproducción parcial siempre y cuando se cite a la fuente.

Apoyo editorial:	Calíope Bastar Dorantes Dafne Rodríguez González
Revisión de la edición:	Dra. Silvia Cappello García Dra. Carolina Zequeira Larios Dra. Lilia Gama Campillo Dr. Nicolás Álvarez Pliego Dr. Rafael Ávila Flores Dr. Rafael Martínez García Dra. Verónica I. Domínguez Rodríguez Dr. Raúl G. Bautista Margulis

Responsable de la edición: Carolina Zequeira Larios
Hecho en Villahermosa, Tabasco, México.

ÍNDICE

diversidad genética del cedro rojo (*cedrela odorata* l.) En el estado de tabasco, mexico 18

Desarrollo de dietas artificiales para tortuga blanca (*dermatemys mawii*), según la capacidad digestiva de la especie 30

Distribución potencial histórica y contemporánea del orden de los falconiformes en tabasco, méxico 50

Estructura de la comunidad de mamífero en áreas naturales protegidas de tabasco 65

Metagenómica de la diversidad bacteriana de las cuevas de villa luz para aplicaciones biotecnológicas 78

Morfología y clave de identificación de los granos de polen de especies del género justicia (acanthaceae) en tabasco, méxico 94

Variaciones temporales y espaciales de partículas PM_{2.5} en zonas urbanas en el municipio de centro, tabasco 106

Pre - textos del solsticio como evidencia de un aprendizaje transformador de los 17 objetivos para el desarrollo sostenible 119

alérgenos (fungosporas y pólenes) aeronavegantes de villahermosa, tabasco

Marcela Alejandra Cid Martínez¹
Reyna L. Focil Monterrubio
José Rosique Gil

RESUMEN

Los pólenes y las fungosporas aeronavegantes tienen proteínas en su superficie que generan alergias respiratorias como la rinitis alérgica, rinoconjuntivitis y asma. La Rinitis Alérgica (RA) es una inflamación de la mucosa nasal mediada por la IgE, de acuerdo con la World Allergy Organization (WAO) el número de personas con RA es de 400 millones (10-40%) pero con posibilidad de incrementarse. El objetivo de este estudio es determinar los taxa alergénicos presentes en la atmósfera durante un ciclo anual. El método empleado es el usado por la Federación Británica de Aerobiología, con lecturas de 12 transectos completando las 24 horas. El estudio se realizó en la zona suburbana localizada en el municipio de la ciudad de Villahermosa, Tabasco. Se obtuvo un total de 36,000 fungosporas y 51,718 pólenes. Los taxa fúngicos registrados fueron *Cladosporium*, *Alternaria*, *Curvularia*, *Coprinus*, *Fusarium*, *Ganoderma* y *Venturia*. Los taxa polínicos colectados fueron Poaceae, Asteraceae, chenoamaranthaceae, *Alnus*, *Arctocarpus*, *Casuarina*, *Cecropia*, *Crataegus*, *Cupressus-Juniperus*, *Cyperus*, *Geum*, *Mimosa*, *Pilea*, *Pinus*, *Plantago*, *Quercus*, *Salix* y *Urtica*. Los meses de septiembre, octubre y noviembre fueron los más importantes por sus contribuciones polínicas.

¹ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, Maestra en Ciencias, Profesora-Investigadora.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades alérgicas como la rinitis, la rinoconjuntivitis y el asma constituyen un problema de salud pública a nivel mundial con efectos económicos de gran impacto porque se requiere de una mayor demanda en servicios de salud; su prevalencia oscila entre un 30 a 40% por uno o más tipo de enfermedades alérgicas. La Rinitis Alérgica (RA) es una inflamación de la mucosa nasal mediada por la IgE y es un factor de riesgo para contraer asma, de acuerdo con la Organización Mundial de Alergias (WAO) el número de personas con asma es de 300 millones con el riesgo de incrementarse a 400 millones para el 2025, en el caso de la RA el número de personas es de 400 millones (10- 40%) actualmente, pero con posibilidad de incrementarse (WAO, 2013; Pawankar, 2014; Mancilla 2015; Narvaéz, 2016). En México el 5.5% de la población padece RA o asma, éstas dos enfermedades son co-mórbidas, es decir hay personas con RA que tienen asma y viceversa (Zubeldía et al., 2012). En Villahermosa la prevalencia de RA es de 39%, mientras que para el asma es 10.2% (Livano et al., 2012; Partida et al., 2012). Las fungosporas y los pólenes sintetizan proteínas durante su formación y son parte de su estructura morfológica, ellas son las causantes de los episodios de alergias en la población sensible. Las fungosporas son el grupo de microorganismos más abundante en la atmósfera, esto debido a su peso ligero, tamaño pequeño y a la cantidad de esporas que pueden producir los cuerpos fructíferos de cada taxón. Los pólenes anemófilos se caracterizan por ser pequeños, con una ornamentación ligera, se deshidratan al entrar a las corrientes de viento para ser transportados y son producidos en grandes cantidades (Rocha, 2009). El clima en la mayor parte del estado de Tabasco es cálido-húmedo-seco, la temperatura puede llegar a superar los 40°C con una humedad relativa superior al 90%, durante el corto invierno el clima es mucho más seco, estas condiciones ambientales propician la producción de fungosporas y de los pólenes aeronavegantes.

Los cambios en el clima tales como tormentas eléctricas durante las estaciones de polen pueden inducir la hidratación de granos de polen y su fragmentación que genera aerosoles atmosféricos biológicos que transportan alérgenos.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo consiste en determinar la frecuencia y abundancia de los taxa de pólenes alergénicos presentes en el aire de una zona suburbana de la ciudad de Villahermosa, Tabasco. La meta es identificar los taxa alergénicos presentes en el aire durante un ciclo anual.

Materiales y mEtodo

El estudio se realizó durante un año de septiembre 2016 - agosto 2017. Se colocó una trampa de esporas secuencial tipo Burkard en el techo del edificio Andrés Reséndez de la DACBiol-UJAT a una distancia de 10 metros sobre el nivel del suelo. El aparato consta de una bomba que succiona aire con un flujo continuo de 10 L/min (correspondiente a 0.6 m³/hr); el aire pasa a través de un orificio de 2 x 14 mm, impactándose las partículas en una cinta de celofán (19 mm) con una capa de vaselina y hexano, la cinta se coloca en un tambor que gira a una velocidad de 2 mm por hora, completando su ciclo en una semana (Burkard,1990; The British Aerobiology Federation,1995). Exteriormente la trampa de esporas cuenta con una veleta que por su movimiento mantiene la ventana u orificio frente a la dirección del viento.

El tambor se trasladó del sitio de muestreo al laboratorio en una caja para evitar cualquier contaminación de la cinta. Una vez en el laboratorio, ésta se cortó en siete fragmentos que corresponden a los siete días de la semana y posteriormente se montó de forma permanente en una solución a base de Gelvatol y se llevó acabo la observación y la cuantificación del polen. Para distinguir los granos de polen y fungosporas aeronavegantes, se tiñeron con fucsina básica como colorante. Estas laminillas se observaron en un microscopio óptico de campo claro (Zeiss Primo Star), el campo del microscopio en 40X se coloca al inicio de la laminilla y se recorre 2 mm que equivale a una hora (5 campos por hora), se hicieron 12 transectos de 2mm cada uno para completar las 24 horas. Cuando los taxa eran difíciles de identificar se trabajó en aumentos de 100X. Los granos de polen y las fungosporas se identificaron considerando las siguientes características: forma, tamaño, tipo y número de aberturas, la ornamentación y estructura de la exina,

utilizando las claves de Smith (1984), American College of Allergy and Immunology (1990); Moore, Webb y Collison (1991), Roubik y Moreno (1991), Martínez et al., (1993), Kapp et al., (2000). Con fines de identificación, se han agrupado familias como Cheno-amaranthaceae debido a que las Chenopodiaceae presentan una membrana muy ligera que cubre la superficie del poro, mientras que las Amaranthaceae pueden o no presentar esa membrana; se agruparon también *Cupressus-Juniperus* debido a que estos géneros tienen una pared muy delgada que se fractura de la misma forma, para distinguirlos es necesario realizar la técnica de acetólisis que, debido a la técnica de muestreo, no se logró realizar.

Resultados

Se identificó de 141 laminillas 18 taxa reportados como alergénicas: 3 a nivel de familia y 15 a nivel de género. Las familias identificadas son: Cheno-amaranthaceae, Asteraceae y Poaceae. Los géneros identificados son: *Alnus* (Betulaceae), *Arctocarpus* (Moraceae), *Casuarina* (Casuarinaceae), *Cecropia* (Cecropiaceae), *Crataegus* (Rosaceae), *Cupressus-Juniperus* (Cupressaceae), *Cyperus* (Cyperaceae), *Geum* (Rosaceae), *Mimosa* (Fabaceae), *Pilea* (Urticaceae), *Pinus* (Pinaceae), *Plantago* (Plantaginaceae), *Salix* (Salicaceae) y *Urtica* (Urticaceae) (Fig. 1). La lista taxonómica obtenida en este estudio es congruente con la zona de estudio, porque refleja la vegetación de los alrededores del equipo de muestreo. El total de pólenes colectados hasta el momento es de 51,718 (Cuadro1). El mes de octubre fue donde se registraron las colectas más altas con 17, 236 pólenes y el mes de agosto fue el menor con 5,450 (Cuadro1). El mes de septiembre se obtuvieron más de 200 pólenes durante todo el mes, comportamiento que no se presentó durante los otros meses. En los días 5 y 27 los taxa que aportaron una mayor cantidad fueron Poaceae, *Cecropia* y *Arctocarpus* (Fig. 2).

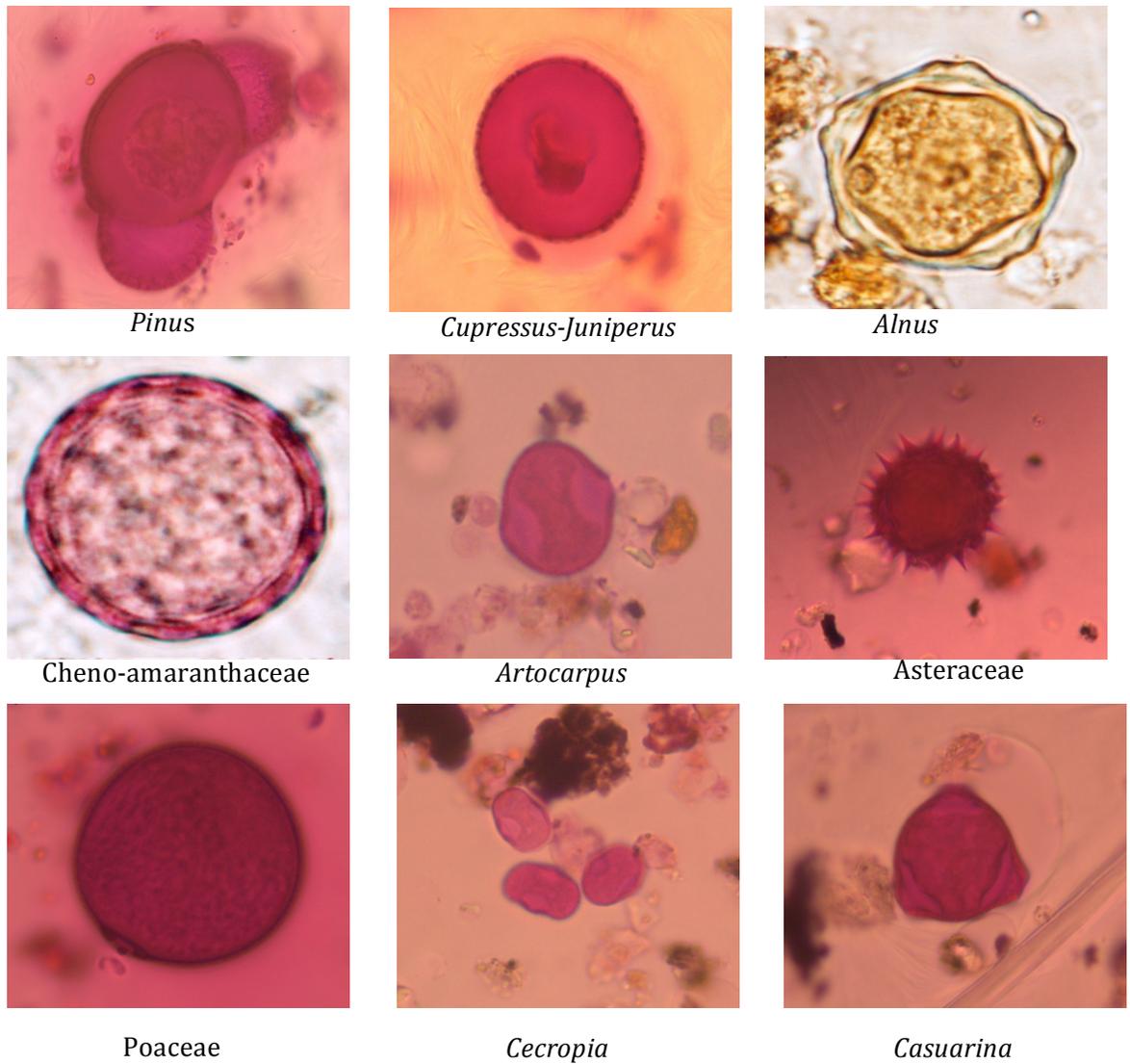


Figura 1. Pólenes alergénicos aeronavegantes

Cuadro 1. Cantidad de pólenes alergénicos colectados en primer semestre de estudio

Ju lio	Ago sto	Septie mbre	Octu bre	Novie mbre	Diciem bre
71	545	11747	1723	12952	3616
7	0		6		

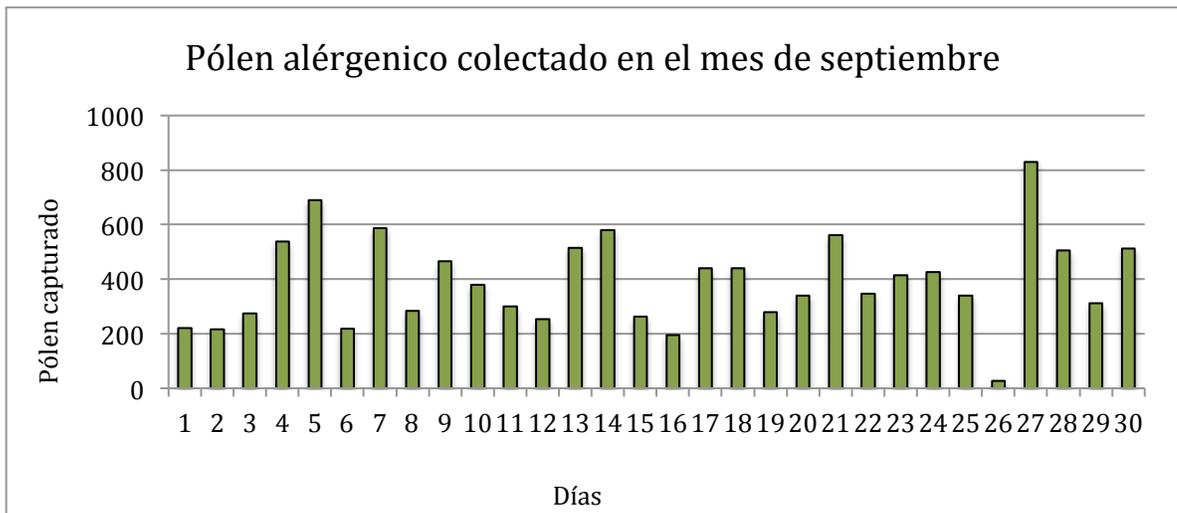


Figura 2. Polen alérgenico aeronavegantes en el mes de septiembre.

El mes de noviembre registró 25 días con capturas mayores a 200 pólenes, el día 29 colecto un total 1,439; los taxa que contribuyeron a este pico mensual fueron *Poaceae*, *Cecropia* y *Arctocarpus* con 725, 392 y 285 pólenes respectivamente (Fig. 3).

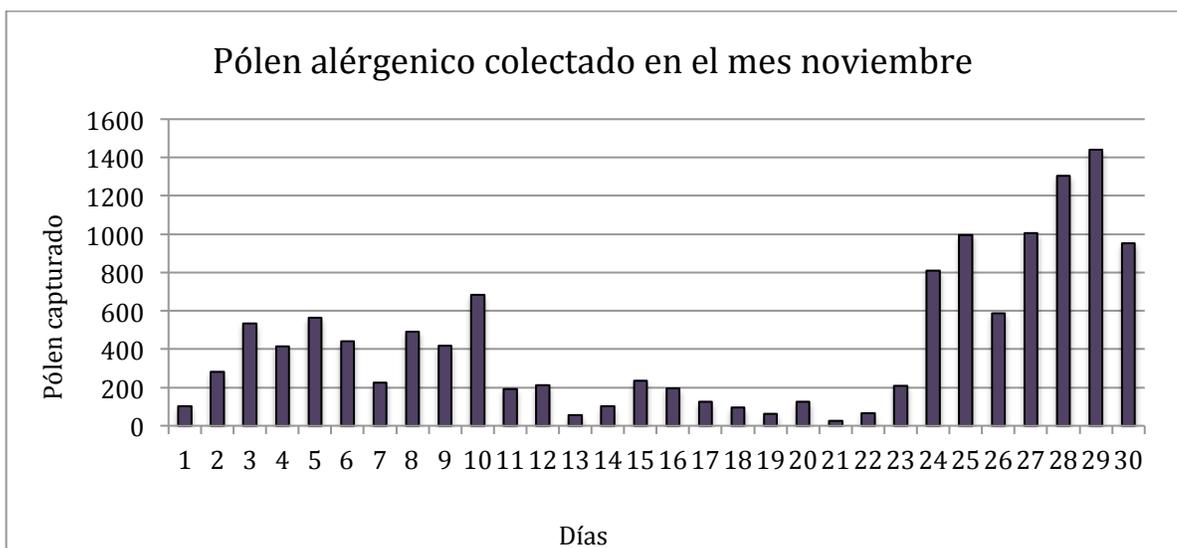


Figura 3. Polen alergénico aeronavegantes en el mes de noviembre

En cuanto a las fungosporas aeronavegantes 5 taxa registraron colectas de más de 2000 esporas (Fig.4)

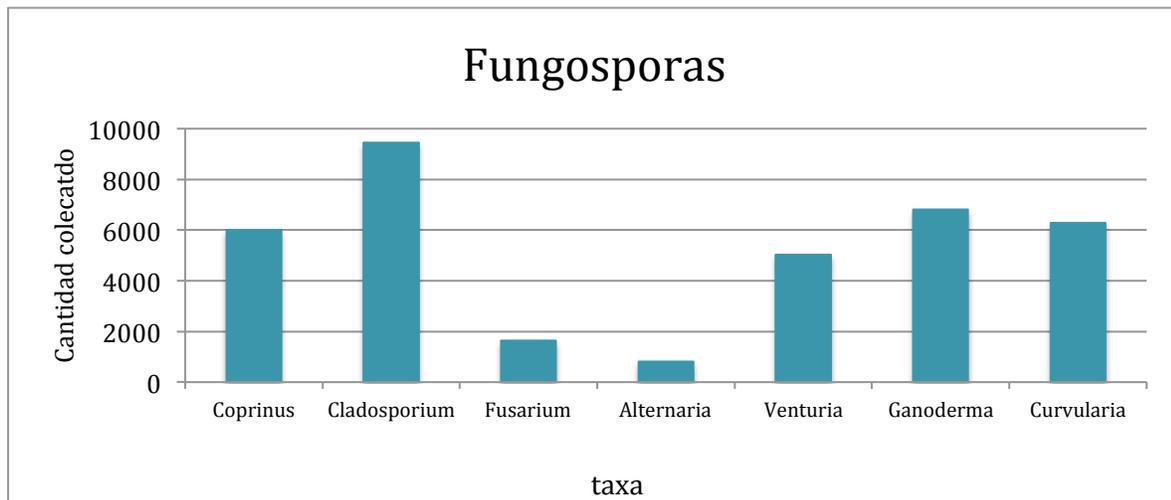


Figura 4. Fungosporas aéreas identificadas en el primer semestre de estudio

Discusión

Las familias identificadas en esta investigación fueron Asteraceae y Poaceae, y los géneros como *Alnus*, *Arctocarpus*, *Casuarina*, *Cecropia*, *Crataegus*, *Cyperus*, *Juniperus*, *Urtica*, *Pilea*, *Pinus*, *Plantago* y *Mimosa* reportados como potencialmente alergénicos coinciden con los resultados de los trabajos de Smith (1984), Jelks (2000), Cid (2000), Bello (2005), Rocha (2009) y Narváez (2016).

Los taxa identificados hasta el momento durante el periodo de muestreo manifiesta la presencia de la vegetación circundante de la zona de estudio. La familia Poaceae tuvo una representatividad importante durante el periodo de estudio, los resultados encontrados demuestran que esta familia coincide con lo reportado por Bello (2005) y Rocha (2009), también se encontraron los géneros *Pinus*, *Cupressus*, *Casuarina* y *Alnus* los cuales condicionan sintomatología alérgico-respiratorias pero estos taxa no son comunes en la zona. Las fungosporas aeronavegantes más

abundantes y frecuentes fueron *Cladosporium* y *Ganoderma* durante los meses de estudio (Bello, 2005; González, 2014; Gallardo, 2015).

Conclusiones

Los pólenes más comúnmente reportados como alergénicos pertenecen a la familia *Alnus* (Betulaceae), *Arctocarpus* (Moraceae), *Casuarina* (Casuarinaceae), *Cecropia* (Cecropiaceae), *Crataegus* (Rosaceae), *Cupressus-Juniperus* (Cupressaceae), *Cyperus* (Cyperaceae), *Geum* (Rosaceae), *Mimosa* (Fabaceae), *Pilea* (Urticaceae), *Pinus* (Pinaceae), *Plantago* (Plantaginaceae), *Salix* (Salicaceae) y *Urtica* (Urticaceae).

Los taxa que presentaron menor frecuencia y abundancia presentes en la atmósfera y altamente alergénicos fueron *Alnus*, *Casuarina*, *Cupressus* y *Pinus*. Las fungosporas colectadas más abundantes fueron *Cladosporium* y *Ganoderma*.

El incremento en el número de pólenes colectados es posible que impacte en la relación de la sintomatología alérgico respiratoria de la población en la zona de estudio.

Referencias

- American College of Allergology and Immunology. (1990). *Aeroallergen Identification*. U.S.A.:ACAAI.
- Bello-Rivera, B. (2005). *Concentración de aeroalergenos en el medioambiente de Villahermosa y su relación con la sintomatología alérgico-respiratoria*. (Tesis de Maestría). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Tabasco, México.
- Burkard. (1990). Burkard Seven Day Recording Spore Trap. *Operating Instructions*.
England: Bukard Manufacturing Co, Ltd.
- Cid,M.M.A. (2000). *Caracterización aeropolinica de una zona suburbana del municipio del centro, Tabasco*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Tabasco, México.
- Gallardo,V.K. (2016). *Variación horaria de las esporas de Ganoderma sp presente en la atmósfera de dos zonas de la ciudad de Villahermosa, Tabasco*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Tabasco, México.
- González, S.I. (2015). *Evaluación aeromicrobiológica de calidad de aire en intramuros*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Tabasco, México.
- Jelks, Mary L. (2000). *Allergy pollen key with images*. United State: M.D. FAAAAI.
- Kapp,R.O., Davis, O.K. King, J.E. (2000). *Pollen and spores*. E.U.A.: AASP Foundation.
- Livano, P.M.A., Del Río B., del Río C.J.M, Mérida P.J.V., Romero T.S.J., Linares Z. F.J.,Pietropaolo C.D. (2012). Prevalence and Risk factors associated to symptoms of rhinoconjunctivitis in mexican school children. A multicentre study. *WAO Journal Supplement* 2. S147p. DOI: 10.1097/01.WOX.0000412171.15972.bf
- Mancilla,H. E., Medina Á.M.A., Barnica A.R.H., Soto C.D., Guerrero V.R. Zecua N.Y. (2015). Prevalencia de rinitis alérgica en poblaciones de varios estados de México. *Revista Alergia de México*, 62: 196-201. Recuperado de <http://revistaalergia.mx/ojs/index.php/ram/article/view/107/173>
- Martínez, E., Cuadrilero, J., Téllez, O., Ramírez, E., Sosa, M., Melchor, J. y Lozano, M. (1993). *Atlas de las plantas y el polen utilizados por las 5 especies principales de abejas productoras de miel en la región del Tacana, Chiapas, México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. México: UNAM.

Moore,P.D., J.A. Webb y M.E. Collison. (1991). *Pollen analysis*. London: Blackwell Scientific Publications.

Narvaéz Gómez, E.I. (2016). Prevalencia de sensibilización a aeroalérgenos en pacientes con rinitis alérgica en el sur de Bolivia. *VacciMonitor*, 25(2), 49-54.

Pawankar, R. (2014). Allergic diseases and asthma: a global public health concern and a call to action. *World Allergy Organization Journal*. 7-12. Recuperado de <https://waojournal.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/1939-4551-7-12?site=waojournal.biomedcentral.com>

Partida G.A., Del Río, B., Prietopaolo C.D., Del Río C.J.M., Ávila,L., Mérida . J.V..... y Carvajal A.S. (2012). Risk factor associated to wheezing in mexican children. A multicentric Isacc-based survey study. *WAO Journal Supplement 2*. S34-S35p.

DOI: 10.1097/01.WOX.0000411797.10550.95.

Roubik,D.W. y Moreno,J.E.(1991).*Pollen and spores of Barro Colorado Island*. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden. E.U.A. Vol. 36.

Rocha, E.A., Alvarado M.A., Foroughbakhch R. y Hernández, J.L. (2009). Polen atmosférico de importancia alergologica en el área metropolitana de Monterrey (Nuevo León, México) durante el periodo Marzo 2003 -Febrero 2005. *Polibotánica* (28). Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682009000200009)

1405-27682009000200009

Smith, E. G. (1984). *Sampling allergenic and identifying pollen and molds. An illustrated manual for physicians and Lab technicians*. E.U.A.: Blewstone Press.

Terán, L.M.; Haselbarth, M.M.M. y Quiroz D.L. (2009). Alergia, pólenes y medio ambiente. *Gaceta Médico Mexicana*,145(3), 215-222. Recuperado de

http://www.anmm.org.mx/GMM/2009/n3/31_vol_145_n3.pdf

The British Aerobiology Federation. (1995). *Airborne Pollens and Spores. A guide to trapping and counting*. Inglaterra: BAF.

World Allergy Organization. (2007). *Aeroallergen monitoring estándar for the Asian Pacific Region. A WAO manual for the use of the Burkard Volumetric Spore Tramp and Burkard Person Volumetric Air Sampler*. Recuperado http://www.worldallergy.org/esp/ptm_2007.pdf

World Allergy Organization. (2013). White book on allergy. Update 2013. Recuperado [http:// www.worldallergy.org/UserFiles/file/WhiteBook2-2013-v8.pdf](http://www.worldallergy.org/UserFiles/file/WhiteBook2-2013-v8.pdf)

Zubeldía, J.M., Baeza, L.M., Jáuregy, I. y Senent, C.J.(2012). *Libro de enfermedades alérgicas de la fundación BBVA*. España: Editorial Nerea S.A. Recuperado de http://www.fbbva.es/TLFU/dat/DE_2012_enfermedades_alergicas.pdf

diversidad genética del cedro rojo (*cedrela odorata* l.) en el estado de tabasco, mexico

Patricia Orduña-Rodas²
Julia Ma. Lesher-Gordillo
José Luis Martínez-Sánchez

RESUMEN

El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) es una especie maderable actualmente catalogada como especie protegida en la NOM-059 y en la lista roja de la UICN debido a la disminución de sus poblaciones silvestres. Ante esta situación, el conocimiento de su diversidad genética representa una herramienta básica para su conservación y manejo adecuado en el estado de Tabasco. Se realizaron colectas de hojas de cedro en individuos con diámetros mayores a 20 cm, en los municipios de Balancan (10 individuos), Centla (6) Centro (12), Cunduacan (10), Teapa (10), Tenosique (15) y Palenque, Chis. (5). El material colectado se transportó al laboratorio para realizar la extracción de DNA. Los datos obtenidos se analizaron con Ntsyspc 2.1, GeneAlex 6.5, Structure 2.3.4 y Cervus 3.0.7 obteniéndose una $H_e = 0.216$ y $H_o = 0.297$. La diferenciación genética fue alta con una $F_{st} = 0.419$. Se distinguieron dos grupos genéticos principales que comparten una ancestría muy similar, lo que marca indicios de cuello de botella pasados en todas las poblaciones.

² Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, estudiante de Maestría en Ciencias Ambientales

INTRODUCCIÓN

La pérdida de la diversidad genética está asociada normalmente con la reducción del tamaño poblacional, la pérdida y fragmentación del hábitat. La diversidad genética es la variedad de alelos y genotipos presentes en un grupo bajo estudio (población, especie o grupo de especies), lo que hace que algunas especies de plantas o animales presenten diferentes propiedades fisiológicas (Frankham et al, 2002) para estudiar los niveles de diversidad genética en una especie, se pueden analizar el DNA nuclear, mitocondrial y el cloroplástico; utilizando iniciadores o “primers” específicos y amplificando por medio de PCR (por sus siglas en inglés; Reacción en Cadena de la Polimerasa). En la actualidad estas técnicas se pueden utilizar en especies de interés para examinar los niveles y la distribución de su variabilidad genética, para guiar los esfuerzos para su conservación (Klug, et al. 2006).

La FAO considera como *recurso genético forestal*: “la variación genética de árboles de beneficio potencial o actual para los seres humanos” (FAO et al., 2007)

Cedrela odorata L. es una especie del Neotrópico perteneciente a la familia de las Meliaceas. Es un árbol que puede alcanzar los 35 m. La polinización en Meliaceas, de acuerdo a la estructura de las flores, muestra características asociadas a la entomofilia, lo cual indica que las abejas y las mariposas nocturnas son los principales vectores del polen (Styles y Khosla, 1976), aunque en algunas especies como *Swietenia mahagony* Jacquin y *Cedrela fissilis* (en Brasil) se han encontrado trips (Thysanoptera) asociados a sus flores (Lee, 1968). El tipo de dispersión de *C. odorata* es anemócora (se dispersa por el viento) logrando llegar las semillas a una distancia mayor a 40 metros (Mostacedo y Pinard, 2001)

Las especies arbóreas forestales son organismos muy longevos, y muy heterocigóticos, que han desarrollado mecanismos naturales para mantener altos niveles de variación *intra-específica*, como altas tasas de cruzamiento lejano y la dispersión de polen o semillas sobre extensas áreas. Estos mecanismos combinados con ambientes naturales son muy variables, tanto en el tiempo como en el espacio y han contribuido a la evolución de las especies arbóreas a organismos existentes más variables genéticamente (Libby et al., 1987). La diversidad biológica es uno de los principios básicos para lograr la gestión sostenible de algunas especies forestales, su conservación y posteriormente su incremento. La alta variabilidad genética de las especies forestales es responsable de los procesos de adaptación ante los factores bióticos y abióticos extremos a los que se enfrentan las especies que, a su vez aseguran la persistencia de estas en su medio natural (Alía et al., 2003), las especies maderables como la *Swetenia macrophylla* King y *Cedrela odorata* L., presentan un proceso de erosión genética debido a su alta explotación (Patiño, 1997).

Después de la caoba, el cedro (*C. odorata* L.) es la especie maderable más importante en la industria forestal mexicana (Pennington y Sarukhán, 2005), se encuentra dentro del CITES y se encuentra dentro de la NOM-059 (SEMARNAT, 2010) en la categoría de riesgo Pr (sujeta a protección especial) por lo anterior, se considera de gran importancia estimar la diversidad genética de poblaciones de *C. odorata* L. en el estado de Tabasco, definir las interacciones entre las poblaciones a través del flujo génico y proponer las poblaciones con mejor diversidad genética para la obtención de germoplasma y su uso en la propagación de la especie en el estado de Tabasco, que además puedan servir de referencia para programas de conservación y aprovechamiento de esta especie.

MATERIALES Y METODOS

Se realizaron colectas en los municipios de Balancan, Centla, Centro, Cuanduacan, Teapa y Tenosique, además de un punto externo en Palenque, Chiapas para la obtención del material genético. Mediante un formato de campo, se registraron las características físicas de los árboles como altura, diámetro, cobertura de copa y fuste limpio (altura a la primera ramificación), además de las coordenadas geográficas y la altura sobre el nivel del mar, para la comparación de estos resultados con los obtenidos en los análisis moleculares. De cada población se colectó material biológico (hojas) de al menos 10 árboles adultos (> 20 cm DAP), dependiendo la cantidad y cercanía de los individuos en cada población, en algunos casos el número fue menor debido a la poca presencia de individuos. Para el corte de las hojas se utilizó una pértiga y se evitó que las muestras tocaran el suelo para prevenir contaminación, posteriormente se introdujeron en una bolsa de plástico que se selló y se colocaron en una nevera con hielo picado, para evitar degradación y posteriormente se transportaron al laboratorio para almacenarlas a una temperatura de -4°C.

El ADN se extrajo con el método CTAB (CetylTrimethylAmmoniumBromide) desarrollado por Doyle y Doyle (1990), modificado por Bekesiova et al., (1999). El ADN obtenido se purificó, para evitar interferencia de ARN y proteínas en las muestras al momento de amplificar siguiendo los pasos de la purificación del método CTAB.

La PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa) se llevó a cabo utilizando 9 “primer´s” ya existentes para *Cedrela odorata* (Hernández et al. 2007) y uno que fue diseñado con el programa Primer 3 y comprobado con el programa Pick Primers a partir de secuencias de *C. odorata* almacenadas en el banco de genes www.ncbi.nlm.nih.gov. Los productos amplificados se almacenaron a -4°C. La separación de los fragmentos obtenidos se realizó

mediante electroforesis sumergida en geles de agarosa al 2%, y se visualizaron en un transluminador (Uvitec) de luz ultravioleta.

A partir de las imágenes digitalizadas de los geles, se procedió a calcular el peso molecular de cada uno de ellos comparando los fragmentos contra el marcador de peso molecular Ladder 100 pb (PROMEGA) para construir una matriz general, con las que se realizaron los análisis de similitud. La matriz de similitud se construyó en el programa NtSys-PC versión 2.0 (Rohlf, 1998). Usando el método de agrupamiento por medios aritméticos no ponderados “UPGMA”, con el objetivo de determinar las relaciones entre las poblaciones estudiadas (Manly, 1997) y entre los diferentes individuos (Guillies et al., 1997).

La variabilidad genética entre las poblaciones se estimó calculando la distancia genética de Nei y el análisis molecular de varianza (AMOVA) y los estadísticos de “F” los cuales serán determinados con el programa GeneAEx 6.41 y Cervus 3.0.7 (Peakall y Smouse, 2006). Para la estimación de la estructura genética, se realizó el Análisis molecular de varianza (AMOVA), realizado con el programa GeneAlex y STRUCTURE 2.3.4.

RESULTADOS

Las extracciones de DNA se realizaron de las hojas de un total de 68 individuos de *C. Odorata*, se utilizaron 10 iniciadores o primers amplificando con éxito 9 (Cuadro 1), obteniendo un total de 40 alelos con tamaños de fragmentos que van de 50 a 650 pb.

Cuadro 1. Primer's utilizados en las PCR realizadas, el último primer fue diseñado con el programa Pick primers 3. Na= número promedio de alelos diferentes, Ne=número promedio de alelos efectivos, l= índice de diversidad de Shannon, Ho= heterocigosidad observada He= heterocigosidad esperada, F = índice de fijación y F(full)= alelos nulos.

L OCUS	SECUENCIA	T amaño de alelos					(full)		
			a	e	o	e			
C	F:ATTTTCATTCCCTTTTAGCC*	5							
ED95	R:TTATCATCTCCCTCACTCCA	0-350	.71	.51	.51	.26	.26	0.008	.267
C	F:GAGTGAGAAGAAGAATCGTGAT	5							
ED65	AGC* R:GAGTTTCGATCAGGTCTTGG	0-180	.28	.59	.55	.44	.33	0.269	0.133
C	F:GATCTCACCCACTTGAAAA*	8							
ED54	R:GCTCATATTTGAGAGGCATT	0-200	.57	.17	.30	.24	.18	0.260	.145
C	F:ACTCCATTAAGTCCATGAA*	1							
ED44	R:ATTTTCATTCCCTTTTAGCC	50-250	.14	.91	.25	.05	.15	.577	.495
C	F:TCATTCTTGGATCCTGCTAT*	5							
ED41	R:GTGGGAAAGATTGTGAAGAA	0-200	.14	.62	.50	.26	.29	.231	.258
C	F:CAATCAAACCAAAAATGGAT*	8							
ED61a	R:GCAAATTAACCAGAAAAACG	0-650	.28	.05	.82	.51	.46	0.141	.013
C	F:CAAAGACCAAGATTGATGC*	5							
ED18	R:ACTATGGGTGGCACAACACTAC	0-200	.57	.43	.41	.39	.27	0.431	0.046
C	F:TTTGCTTTGAGAAACCTTGT*	5							
ED2	R:AACTTTCGAATTGGTTAAGG	0-150	.28	.97	.20	.11	.11	0.072	.227
A	F:ACGAATATGAGCCCGTAACC*	5							
B0507	R:CTGCTATTGAAGCCCCATCT	0-350	.00	.37	.43	.36	.25	0.391	0.074

Con la matriz de datos que se obtuvo de la visualización de PCR en los geles de agarosa se realizaron los análisis correspondientes con el programa NTSYSpc 2.1, GenAlex 6.5 y STRUCTURE 2.3.4. El AMOVA obtenido con el programa GenAlex 6.5 mostró una varianza de 39% entre poblaciones, la más alta de los tres valores, seguida por un 34% de varianza dentro de los individuos y un 27% entre individuos lo que nos indica una mayor variación de los datos obtenidos entre poblaciones.

Los estadísticos de “F” muestran valores positivos para los tres coeficientes, el valor más alto corresponde al Fit con un valor de 0.597, mientras que el valor más bajo es para Fis con 0.306 y el valor que se indica para Fst es de 0.419. Los valores de frecuencias alélicas estimadas con

GenAlex 6.5 (Cuadro 1) muestran una clara diferencia de valores entre algunas poblaciones, presentando los valores más altos de cada categoría, en el municipio del Centro, como se puede observar en el número promedio de alelos diferentes para cada población N_a que tiene valores que van de 1.111 a 3.667 (Cuadro 1), mientras que el N_e presenta valores de 0.832 a 2.403, el índice de fijación de Shannon tiene valores de 0.331 a 0.997 y por último la H_e es de 0.093 a 0.564.

En la Figura 1 se puede observar claramente dos grupos genéticos diferenciados por distintos colores con una $K=2$, lo que sugiere una ancestría muy similar entre ellos, sin embargo hay algunos individuos que presentan una alta diferenciación genética entre estos grupos.

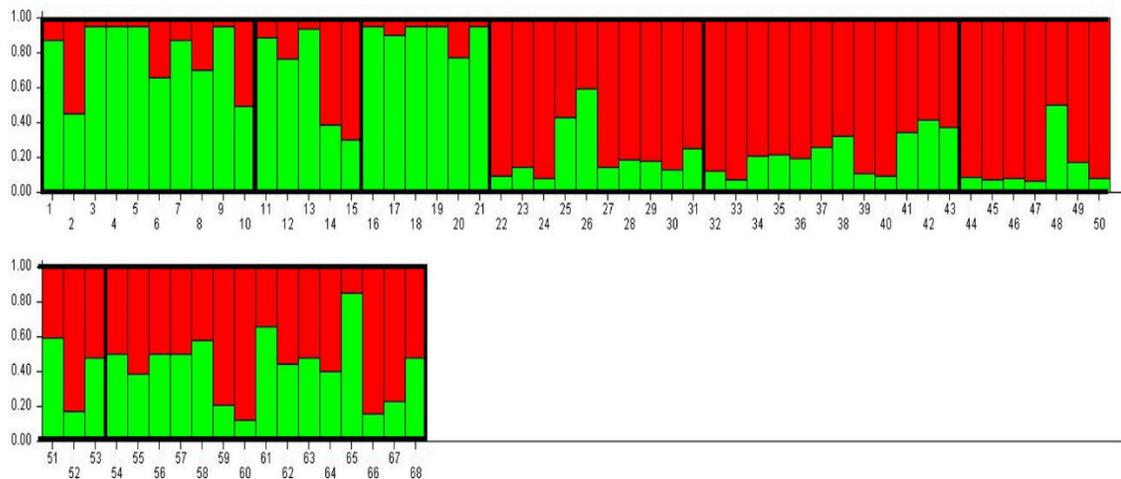


Figura 1. Número de grupos genéticos estimado donde se muestra la representación gráfica del valor de $K=2$ y la asignación de las muestras a cada grupo, a partir de una evaluación bayesiana, aplicando STRUCTURE 2.3.4. Las están muestras agrupadas por poblaciones a) Cunduacán, b) Palenque, c) Centla, d) Balancan, e) Centro, f) Teapa y g) Tenosique.

DISCUSIÓN

Debido a la fragmentación del hábitat y deforestación, las especies, pueden verse afectadas a largo plazo por baja variabilidad genética y endogamia (Watts et al. 2016) las cuales resultan en menor capacidad de

respuesta adaptativa en cualquier eventualidad (Holsinger, 2000), por lo que se han comenzado a realizar estudios sobre la diversidad genética de *C. odorata* en algunas regiones del continente Americano.

Algunos autores han evaluado la diversidad genética inter e intra poblaciones de *C. odorata*, en Costa Rica y Perú, con diferentes marcadores moleculares como RAPs y AFLPs, y han reportado alta diferenciación genética ($P < 0.004$, AMOVA) entre poblaciones y diversidad alta con valores de H_t de 0.22, al igual que niveles de diversidad intrapoblacional altos (Gillies et al., 1997; De la Torre et al. 2008). En Costa Rica se han utilizado también cloroplastos y marcadores AFLPs encontrando un nivel de diversidad alto de H_t de 0.27, mientras que la diversidad dentro de la población fue baja, también reportaron que las poblaciones de la región seca mantenían mejor diversidad que las de regiones húmedas (Cavers et al., 2003). Hay estudios sobre diversidad genética en otros géneros como *C. balansae* en los que utilizaron SSRs y AFLPs reportando una H_e de 0.643 y 0.222 respectivamente y la diferenciación genética entre poblaciones fue baja para ambos marcadores (Soldati et al., 2013). Sin embargo estos datos son muy parecidos a los encontrados en poblaciones mexicanas de *Swietenia macrophylla* King., en donde se reporta una variación genética moderada ($H_e = 0.600$), un nivel de endogamia alto y significativo ($F_{is} = 0.309$), mientras que la estructura genética fue baja pero significativa ($F_{st} = 0.095$) y un tamaño efectivo (N_e) heterogéneo de 19.4 (Trujillo-Sierra et al. 2013). Nuestros datos sin embargo muestran que existe una estructura genética alta ($F_{st} = 0.419$), pero con un nivel de endogamia alto ($F_{is} = 0.306$).

En general se puede decir que en el presente estudio, se obtuvo una buena cantidad de ADN molecular y que este refleja una diferenciación genética alta en las poblaciones analizadas al menos para la población más alejada geográficamente como Tenosique. Esta separación genética sugiere una posible línea evolutiva o de aislamiento de estas poblaciones con el resto del estado de Tabasco, lo cual consideramos como un resultado

importante acerca de esta especie arbórea, tal como lo muestran los resultados del dendrograma. Así también, los resultados muestran que la población muestreada para el municipio del Centro, particularmente los que se encuentran dentro de la ciudad de Villahermosa, presento la mayor diversidad genética por población, lo cual sugiere que estos individuos fueron plantados de acuerdo a el manejo que ha tenido la especie en esta localidad, al ser un centro de reproducción y siembra de árboles con germoplasma traído de otras localidades de la región, a lo largo del tiempo.

CONCLUSIONES

La especie *Cedrela odora* L., en el estado de Tabasco, si presenta una alta diversidad genética, en especial, los individuos ubicados en el municipio del Centro. Dentro de las poblaciones como Tenosique y Centla, se observaron ciertos niveles de endogamia con baja variación genética, lo cual indica un bajo flujo genético con poca conectividad entre ellas. Este estudio puede ser de gran utilidad para la conservación y manejo a mediano plazo en esta región, así como para en algún momento poder enriquecer la diversidad genética a nivel regional. Como recomendación práctica, se puede sugerir a los empleadores del recurso forestal en esta región, usar preferentemente el germoplasma proveniente de las poblaciones de Centro y Palenque, que de las poblaciones con menor variabilidad genética como Tenosique, de esta manera, consideramos que a futuro se podría contrarrestar la perdida de diversidad genética de esta especie si se realiza un manejo adecuado.

REFERENCIAS

- Alía, R., Agúndez, D., Alba, N., González Martínez, S. C., y Soto, A. (2003). Variabilidad genética y gestión forestal. *Ecosistemas*, 12(3).
- Bekesiova, I., Nap, J. P., y Mlynarova, L. (1999). Isolation of high quality DNA and RNA from leaves of the carnivorous plant *Drosera rotundifolia*. *Plant Molecular Biology Reporter*, 17(3):269-277.
- Cavers, S., Navarro, C., y Lowe, A. J. (2003). A combination of molecular markers identifies evolutionarily significant units in *Cedrela odorata* L.(Meliaceae) in Costa Rica. *Conservation Genetics*, 4(5):571-580.
- De la Torre, A., López, C., Yglesias, E., y Cornelius, J. P. (2008). Genetic (AFLP) diversity of nine *Cedrela odorata* populations in Madre de Dios, southern Peruvian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 255(2):334-339.
- Doyle, J. J., y Doyle J. L. (1990). Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus*, 12: 13-15.
- FAO, FDL y Bioversity International. (2007). Conservación y manejo de recursos genéticos forestales. Visión general, conceptos y algunos métodos sistemáticos. Instituto Internacional de Recursos Filogenéticos, Roma, Italia. (1) 110 p.
- Frankham, R., Briscoe, D. A., y Ballou, J. D. (2002). Introduction to conservation genetics. Cambridge University Press.
- Gillies, A. C. M., Cornelius, J. P., Newton, A. C., Navarro, C., Hernandez, M., y Wilson, J. (1997). Genetic variation in Costa Rican populations of the tropical timber species *Cedrela odorata* L., assessed using RAPDs. *Molecular Ecology*, 6(12):1133-1145.
- Hernández, A., A. Buonamici, K. Walker, G. G. Vendramin, C. Navarro, y S. Cavers. (2007). Isolation and characterization of microsatellite markers for *Cedrela odorata* L. (Meliaceae), a high value neotropical tree. *Conserv Genet* 9:457-459.

- Holsinger, K. E. (2000). Reproductive systems and evolution in vascular plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(13):7037-7042.
- Klug, W. S., y Michael, R. (2006). Cummings, Charlotte A Spencer. *Concepts of Genetics*. 8th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, Inc.
- Lee, H. Y. (1967). Studies in Swietenia (Meliaceae): observations on the sexuality of the flowers. *Journal of the Arnold Arboretum*, 48(1): 101-104.
- Libby, W. J., Abbott, A. J., y Atkin, R. K. (1987). Genetic resources and variation in forest trees. *Improving vegetatively propagated crops*, 200-209.
- Manly, B. F. (1997). *Randomization, Bootstrap and Monte Carlo Methods in Biology*. CRC Press.
- Mostacedo, B., y Pinard, M. (2001). Ecología de semillas y plántulas de árboles maderables en bosques tropicales de Bolivia. *Regeneración y silvicultura de bosques tropicales en Bolivia*, 11-29.
- Patiño Valera F. (1997) Genetic resources of Swietenia macrophylla and Cedrela odorata in the neotropics: Priorities for coordinates actions. *Forest Genetic Resources No. 25*. FAO, Roma. 12 p.
- Peakall, R. O. D., y Smouse, P. E. (2006). GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular ecology notes*, 6(1):288-295.
- Pennington, T. D., y Sarukhán, J. (2005). *Árboles Tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rohlf, F. J. (1998). *Numerical taxonomy and multivariate analysis system*, version 2.02 i. 100. North Country Road, Setanket, New York.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059. 2010. Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y*

especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo. México, DF.

- Soldati, M. C., Fornes, L., Van Zonneveld, M., Thomas, E., y Zelener, N. (2013). An assessment of the genetic diversity of *Cedrela balansae* C. DC.(Meliaceae) in Northwestern Argentina by means of combined use of SSR and AFLP molecular markers. *Biochemical systematics and ecology*, 47, 45-55.
- Styles, B. T. y Khosla, P. K. (1976). Cytology and reproductive biology of Meliaceae. In: *Tropical trees: variation, breeding and conservation*. Burley J. y Styles B. T. (eds). Linnean Society Symposium. Series Number 2: 61-68.
- Trujillo-Sierra, J. E., Delgado-Valerio, P., Ramírez-Morillo, I., Rebolledo-Camacho, V., y Pérez-Nasser, N. (2013). Variación genética en poblaciones mexicanas de *Swietenia macrophylla* King, una especie tropical en expansión geográfica reciente. *Botanical sciences*, 91(3):307-317.
- Watts, K., Vanhala, T., Connolly, T., y Cottrell, J. (2016). Striking the right balance between site and landscape-scale conservation actions for a woodland insect within a highly fragmented landscape: A landscape genetics perspective. *Biological Conservation*, 195:146-155.

Desarrollo de dietas artificiales para tortuga blanca (*Dermatemys mawii*), según la capacidad digestiva de la especie

Rangel-Mendoza Judith Andrea³
Pereyra de la Rosa, Anel
Leyva Trinidad, Carlos Alberto
Hernández-García, Jorge
Álvarez-González, Carlos Alfonso

RESUMEN

La acción de las enzimas proteasas y lipasas digestivas de juveniles de tortuga blanca, *Dermatemys mawii*, se estudió con el propósito de diseñar dietas artificiales para la especie acordes a su capacidad de digestión del alimento. Las condiciones de óptima actividad en cuanto a temperatura y pH fueron determinadas. La digestibilidad *in vitro* de diferentes ingredientes como fuentes de proteína y lípidos fue evaluada, resultando que la especie tiene la capacidad de procesar tanto sustratos de origen animal como vegetal. A partir de la digestibilidad de los ingredientes evaluados, se formularon dos dietas, una con fuente de proteína animal, y la otra vegetal. El efecto *in vivo* de dichas dietas se probó sobre el crecimiento de las tortugas y se consideró una dieta comercial convencional para comparación. Las dietas diseñadas conforme a su capacidad digestiva mostraron mejores resultados en la ganancia relativa de peso, y se observó evidencias del efecto de la temperatura adicional al factor nutricional. El desarrollo de dietas para esta especie brinda alternativas para mejorar la eficiencia de las técnicas actuales para su crianza con fines de producción y aprovechamiento.

³ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, Dra. en ciencias, Profesora Investigadora

INTRODUCCIÓN

La nutrición es un aspecto crítico en el manejo en cautiverio de cualquier especie. La alimentación de animales silvestres en cautiverio se basa en el suministro de alimento similar a la dieta natural de la especie o de dietas artificiales (Ofstedal y Allen, 1996). A partir de la caracterización de la capacidad digestiva de los organismos es posible diseñar dietas artificiales (Moyano-López, 2006). Esta capacidad depende de la acción de las enzimas digestivas, las cuales participan en la transformación del alimento ingerido en moléculas simples, pequeñas y absorbibles (De Silva y Anderson, 1995). Esta orientación ha sido abordada en especies acuáticas manejadas bajo sistemas de crianza intensivos como peces e invertebrados (Alvarez-González, 2003; Guerrero-Zárate, 2010), aunque muchas otras especies con potencial de manejo productivo aún no han sido consideradas.

En México, una especie que viene siendo manejada en cautiverio con propósitos de aprovechamiento comercial y conservación es la tortuga blanca (*Dermatemys mawii*). Este animal es utilizado en la gastronomía local, y como mascota, lo que aunado a la modificación de su hábitat, son factores de amenaza para su conservación. Esta especie se encuentra en peligro de extinción (SEMARNAT, 2010; IUCN, 2013), y es considerada una de las 25 tortugas con mayor riesgo de desaparición en el mundo (TSA, 2013).

La alimentación convencional empleada para la crianza de tortuga blanca considera el alimento artificial diseñado para peces o aves de corral, complementado con vegetación nativa, vegetales o frutas de consumo humano (Rangel-Mendoza et al., 2009). Sin embargo, existen evidencias de condiciones adversas de salud en las tortugas blancas cautivas, que pueden estar relacionadas con un manejo alimenticio inadecuado (Rangel-Mendoza et al., 2014).

Este proyecto pretende reunir información científica que sustente el diseño de alternativas de dietas artificiales que correspondan con las características

digestivas de la tortuga blanca. Para tal fin, este proyecto consideró realizar una caracterización de las enzimas digestivas proteasas y lipasas, estudios de digestibilidad de fuentes animales y vegetales, de lípidos y proteínas para la alimentación, la formulación de dietas artificiales, y la evaluación del efecto de las dietas diseñadas sobre el crecimiento de individuos manejados en cautiverio. Los resultados generados serán de utilidad para incrementar la eficiencia de las prácticas actuales de crianza de esta especie.

OBJETIVO

Desarrollar dietas artificiales para la tortuga blanca, *Dermatemys mawii*, a partir de la caracterización de su capacidad digestiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención y preparación de las muestras.

Cinco crías de tortuga blanca fueron sacrificadas después de mantenerlas en ayuno durante 48 h. El estómago e intestino delgado de cada individuo se extrajeron, para procesarlos y obtener un extracto de enzimas digestivas. Este extracto resulta de la disrupción de estos tejidos en un buffer glicina-HCl pH 2 para el estómago, y un buffer Tris-HCl-CaCl₂ a pH 7.5 para el intestino. El tejido homogeneizado se centrifugó y el sobrenadante constituyó el extracto enzimático a estudiar. El porcentaje de contenido de proteína en los extractos de estómago e intestino delgado se determinó a través del método de Bradford (1976).

Caracterización de la actividad de las enzimas digestivas

La actividad de las enzimas proteasas y lipasas se determinó a partir del análisis del extracto multienzimático. Cada prueba se realizó por triplicado e incluyó un tratamiento control sin acción enzimática. Los niveles de actividad enzimática se establecieron por unidad de acción enzimática por miligramo de proteína en el extracto enzimático (U/mg).

La actividad de las proteasas ácidas se estableció mediante la metodología de Anson (1938), con algunas modificaciones, y para las proteasas alcalinas, por el método de Kunitz (1947) modificado por Walter (1984). Su actividad se calculó con base en la liberación de tirosina, que se estima mediante espectrofotometría a una absorbancia de 280 nm. La actividad de lipasas se determinó mediante la técnica de Versaw et al. (1989), a partir de la cantidad de enzima requerida para incrementar 0.01 unidades de absorbancia a 540 nm por min.

Los valores óptimos de actividad a diferentes niveles de temperatura y pH se determinaron para cada grupo de enzimas. La actividad de las enzimas se evaluó a 25, 35, 45, 55 y 65°C, a un pH estándar, para determinar la temperatura óptima. Además, se determinó su actividad a pH 2, 4, 6, 8, 10 y 12, a una temperatura estándar, para establecer el pH óptimo.

Digestibilidad *in vitro* de ingredientes alimenticios

Diversos ingredientes proteínicos y lipídicos, de origen animal y vegetal, comúnmente usados en la elaboración de alimentos balanceados para animales, fueron empleados para evaluar su digestibilidad *in vitro*. Se ensayaron 10 fuentes de proteína, incluyendo a la caseína (referencia) y 10 fuentes de lípidos, incluyendo a la tributirina (referencia); los ingredientes evaluados se detallan en la sección de resultados.

La digestibilidad *in vitro* de los ingredientes proteínicos se midió a través de su grado de hidrólisis (GH) por el método de Saunders et al. (1972) modificado por Dimes y Haard (1994) así como por el análisis de aminoácidos libres totales (AALT), según la técnica propuesta por Church et

al. (1983). Los ingredientes lipídicos se procesaron según el método de Nolasco et al. (2006) para determinar su digestibilidad a partir del cálculo de su velocidad de hidrólisis (VH). El grado y la velocidad de hidrólisis se determinaron mediante el sistema pH STAT.

Formulación de dietas artificiales

Dos dietas artificiales diferentes se formularon a partir de las fuentes de proteína ensayadas que presentaron los mayores valores de digestibilidad *in vitro*; una dieta con fuentes de proteína de origen animal, y otra de origen vegetal.

La formulación de mezclas se realizó usando el software Mixitwin Version 5.0, considerando el diseño de dietas isoproteicas (30%). Cada mezcla se enriqueció con micronutrientes (vitaminas, minerales y vitamina C) y otros insumos para dar volumen y cohesión. La mezcla se procesó en una máquina extrusora de alimentos para obtener pellets de 5 mm de diámetro, que se almacenaron en refrigeración hasta su suministro a los animales.

Efecto de las dietas artificiales

Treinta y seis crías de tortuga blanca, de 1.5 años de edad, se manejaron en un sistema de recirculación y tratamiento de agua. Se consideraron 12 unidades experimentales, cada una con tres individuos y cada tratamiento contó con cuatro repeticiones. Este ensayo se realizó en la Unidad de Manejo para la Conservación de Vida Silvestre (UMA) denominada Centro de Investigación para la Conservación de Especies Amenazadas (CICEA) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco en Villahermosa, México.

Se evaluó el efecto sobre el crecimiento de tres dietas: dos de ellas aquellas formuladas en este proyecto y la tercera, la dieta convencional de alimento balanceado extruido de engorda para tilapia (*Oreochromis spp.*), marca Pedregal®. El alimento se suministró una vez al día, antes de finalizar la tarde. Previo al inicio del ensayo, los animales fueron adaptados a las dietas

experimentales por cuatro semanas, haciendo reemplazo del 25% cada semana.

La evaluación del crecimiento de las tortugas se realizó mediante la biometría corporal de los organismos al inicio del experimento, y después cada cuatro semanas. Así mismo, se hizo una evaluación física externa de los organismos en cada revisión biométrica. El ensayo se realizó durante 16 semanas.

Análisis de datos

La actividad de las enzimas digestivas fue analizada a partir de estadística descriptiva. Las variables GH, AALT y VH de los diferentes ingredientes se compararon mediante análisis de varianza de un factor (ingrediente). La digestibilidad relativa se calculó comparando al ingrediente evaluado con su referencia respectiva, caseína o triburitina, considerándola con una digestibilidad del 100%.

A partir del registro del peso y longitud del caparazón, se estimaron las variables de incremento neto (IN) y relativo (IR), para la duración total del estudio y entre periodos de evaluación. Para IR se consideró el IN como un porcentaje de su condición inicial.

Las variables corporales se compararon mediante un ANOVA multifactorial utilizando la dieta como factor principal y la temperatura como covariable. Cuando una diferencia significativa ($P < 0.05$) fue indicada, la comparación entre tratamientos fue determinada por la prueba de rangos múltiples LSD de Fisher. Los análisis estadísticos se realizaron a través del programa STATGRAPHICS Centurion XVI Version 16.1.03®.

RESULTADOS

Caracterización de la actividad de las enzimas digestivas

La actividad de las enzimas proteasas y lipasas varió en las diferentes temperaturas empleadas (Cuadro 1). Los valores óptimos de temperatura para estos tres grupos de enzimas se encontraron a 55°C, aunque las lipasas presentaron niveles óptimos similares a 45°C.

Cuadro 1. Actividad de enzimas digestivas proteasas y lipasas (U/mg proteína) a diferentes temperaturas en crías de tortuga blanca, *Dermatemys mawii*.

Temp eratura (°C)	Pro teasas ácidas	Pro teasas alcalinas	Lip asas alcalinas
	0.6	0.7	0.1
25	6 ± 0.08	1 ± 0.08	9 ± 0.01
	0.3	1.5	0.1
35	7 ± 0.09	5 ± 0.10	9 ± 0.02
	1.0	1.4	0.2
45	6 ± 0.05	3 ± 0.02	4 ± 0.01*
	1.4	3.0	0.2
55	4 ± 0.04*	2 ± 0.07*	4 ± 0.02*
	0.4	2.1	0.0
65	3 ± 0.06	4 ± 0.16	4 ± 0.00
	0.1	0.1	
75	8 ± 0.08	2 ± 0.03	-

* condiciones de actividad óptima.

La variación en el pH también afectó la actividad de los tres grupos enzimáticos considerados. La máxima actividad de estos tres grupos de enzimas se encontró a pH 2 para proteasas ácidas, pH 9 para proteasas alcalinas y pH 10 para lipasas alcalinas.

Cuadro 2. Actividad de enzimas digestivas proteasas y lipasas (U/mg proteína) a diferentes niveles de pH en crías de tortuga blanca, *Dermatemys mawii*.

	p	Proteas	Prot	Lipa
H		as ácidas	easas	sas
			alcalinas	alcalinas
		0.62 ±	0.07	0.00
2		0.18*	± 0.06	± 0.00
		0.14 ±	0.13	--
3		0.04	± 0.07	
		0.07 ±	0.04	0.01
4		0.02	± 0.02	± 0.00
		0.04 ±	0.02	--
5		0.03	± 0.01	
		0.06 ±	0.07	0.03
6		0.02	± 0.04	± 0.01
		0.03 ±	0.12	--
7		0.01	± 0.04	
		0.01 ±	0.06	0.15
8		0.00	± 0.01	± 0.01
		0.09 ±	0.7	--
9		0.01	5 ± 0.04*	
		0.04 ±	0.04	0.5
0		0.00	± 0.04	5 ± 0.04*
		0.04 ±	0.04	--
1		0.00	± 0.02	
		0.03 ±	0.08	0.12
2		0.00	± 0.07	± 0.03

Digestibilidad *in vitro* de ingredientes alimenticios

La digestibilidad *in vitro* varió según la fuente de proteína evaluada (Cuadro 3). El GH fue significativamente diferente entre los sustratos ($F= 8.48$, $P<0.001$), resultando que las harinas de calamar y pescado presentaron los mayores valores, mientras la harina de sangre y el gluten de maíz, los más bajos. AALT también varió entre ingredientes ($F=15.29$, $P<0.001$), mostrando los más altos niveles para la harina de calamar, mientras los más bajos para harina de pescado, caseína y gluten de trigo.

Cuadro 3. Digestibilidad *in vitro* de diversas fuentes de proteína en crías de tortuga blanca, *Dermatemys mawii*.

Sustrato	Grado de hidrólisis (GH, %)	Digestibilidad relativa (%)	Aminoácidos libres totales (AALT, $\mu\text{g}/\text{mL}$)
Harina de calamar	1.09 ± 0.16^a	156.2	298.71 ± 11.8^a
Harina de pescado	0.94 ± 0.10^a	134.3	156.69 ± 9.22^d
Caseína	0.70 ± 0.17^b	100	188.66 ± 21.22^d
Harina de coco	0.56 ± 0.10^b	80.3	218.53 ± 5.54^c
Pasta de soya	0.54 ± 0.28^{bc}	78.0	237.39 ± 20.06^{bc}
Harina de trigo	0.50 ± 0.17^{bc}	72.2	216.17 ± 6.22^c
Harina de soya	0.50 ± 0.09^c	71.9	255.47 ± 19.89^b
Salvado de trigo	0.28 ± 0.11^c	39.8	215.38 ± 9.82^c
Gluten de trigo	0.27 ± 0.23^c	38.4	182.37 ± 10.95^d
Gluten de maíz	0.21 ± 0.02^d	29.9	231.10 ± 14.34^{bc}
Harina de sangre de res	0.20 ± 0.13^d	28.9	253.11 ± 10.63^b

a, b, c, d: Superíndices similares, indican grupos estadísticos homogéneos.

La digestibilidad *in vitro* de las fuentes de lípidos ensayadas (Cuadro 4) presentó diferencias significativas a partir del análisis de los valores de VH ($F= 0.90$, $P<0.05$). Los ingredientes que obtuvieron mayor VH con resultados muy similares entre sí fueron el cebo de res y el aceite de soya, mientras que el aceite de girasol mostró los valores más bajos.

Cuadro 4. Digestibilidad *in vitro* de diversas fuentes de lípidos en crías de tortuga blanca, *Dermatemys mawii*.

Sustrato	Velocidad de hidrólisis (VH, %)	Digestibilidad relativa (%)
Tributirina	0.399 ± 0.021^f	100
Cebo de res	0.133 ± 0.021^a	33.3
Aceite de Soya	0.130 ± 0.013^a	32.7
Aceite de Maíz	0.103 ± 0.015^b	25.9
Aceite de Salmón	0.091 ± 0.010^{bc}	22.8
Aceite de Bacalao	0.084 ± 0.010^{bcd}	22.5
Aceite de Cártamo	0.090 ± 0.004^{bcd}	21.1

Aceite de Sardina	0.068 ± 0.010 ^d	18.9
Aceite de Canola	0.075 ± 0.002 ^{cd}	17.1
Aceite de Girasol	0.039 ± 0.002 ^e	9.8

^{a,b,c,d,e} grupos de ingredientes lipídicos que presentan diferencias estadísticas con respecto al ingrediente de referencia ^r

Formulación de dietas artificiales

A partir de las fuentes de proteína ensayadas que presentaron los mayores valores de digestibilidad *in vitro*, se diseñaron dos dietas, una con fuentes de proteína de origen animal, y otra de origen vegetal (Cuadro 5). Los insumos para cohesión y volumen del pellet fueron el salvado de trigo y la grenetina.

Cuadro 5. Composición de las dietas artificiales diseñadas para juveniles de tortuga blanca, *Dermatemys mawii*.

Ingrediente	Dieta Animal (%)	Dieta Vegetal (%)
Almidón de Maíz	15	15
Salvado de trigo	30.09	11.33
Harina de soya	20	34.9
Pasta de coco	15.71	30
Harina de pescado	8	0
Harina de sangre de	2	0

res

Aceite de sardina	3	2.57
Grenetina	2	2
Lecitina de soya	2	2
Vitamina C	1	1
Premezcla Mineral	0.7	0.7
Premezcla Vitaminas	0.5	0.5

Efecto de las dietas artificiales

El valor de IN presentó amplias variaciones en cada tratamiento a lo largo del estudio (Cuadro 6). En el periodo 1 se observaron diferencias entre dietas ($p < 0.01$), los animales alimentados con la dieta vegetal presentaron pérdida de peso con respecto a su condición al inicio del experimento, mientras aquellos con dieta animal mostraron mejor indicador. Las dietas animal y vegetal presentaron mayores valores de IN que la dieta control para todo el experimento.

Cuadro 6. Incremento absoluto de peso (g) en juveniles de tortuga blanca, *Dermatemys mawii*, alimentadas con diferentes dietas. Promedio y desviación estándar.

D ieta	Período (Mes)				Total
	1	2	3	4	
A nimal	42 ± 63.54	133 ± 76.26	53 ± 68.47	52 ± 66.52	280 ± 155.51
C ontrol	13 ± 72.94	83 ± 70.08	23 ± 25.53	45 ± 68.67	163 ± 146.74
V	-5 ±	104 ±	51 ±	64 ±	215 ±

egetal	43.66	45.85	62.88	39.25	109.09
--------	-------	-------	-------	-------	--------

El IR de peso (Cuadro 7) en el periodo total del experimento no fue estadísticamente diferente entre las dietas evaluadas ($P= 0.82$), aunque se detectó efecto de la temperatura sobre la dieta ($P=0.0114$), y sólo para el periodo 1 de evaluación ($P=0.0016$). Las dos dietas experimentales presentaron un IR de peso similar, y en conjunto, de mayor magnitud a la dieta control. La dieta animal contó con temperaturas más altas sólo en el periodo 1 del estudio, debido a que estuvo expuesto a la radiación solar de manera diferente a los demás tratamientos.

Cuadro 7. Incremento relativo de peso (g) en juveniles de tortuga blanca, *Dermatemys mawii*, alimentadas con diferentes dietas. Promedio y desviación estándar.

D ieta	Período (Mes)				Total
	1	2	3	4	
A nimal	2.64 ± 4.4	8.96 ± 4.8	2.89 ± 4.5	3.42 ± 5.2	18.93 ± 9.55 ^a
C ontrol	0.48 ± 5.5	6.03 ± 4.2	3.37 ± 2.5	3.04 ± 1.5	11.18 ± 9.10 ^b
V egetal	-0.35 ± 2.6	7.46 ± 3.8	1.37 ± 4.5	4.26 ± 4.1	15.54 ± 9.41 ^a

Las variables IN e IR de peso variaron significativamente entre periodos de evaluación para la dieta animal ($p_{IN}=0.005$; $p_{IR}=0.008$), la dieta control ($p_{IN}=0.026$; $p_{IR}=0.011$) y la dieta vegetal ($P=<0.01$); la mayor magnitud en todos los casos se obtuvo en el periodo 2 del ensayo. En todas las dietas, la temperatura influyó en el efecto temporal sobre IN e IR, siendo más baja en el periodo 3.

En relación a la longitud de caparazón (Cuadros 8 y 9), no se hallaron diferencias significativas en IN ($P=0.92$) e IR ($P=0.95$) entre dietas para el periodo total del estudio ($P=0.43$). Sin embargo, IN de longitud si presentó diferencias asociadas a la dieta en los periodos 2 ($P=0.023$) y 3 ($P=0.02$), así como en IR en el periodo 3 ($P=0.02$), donde las dietas animal y vegetal superaron la respuesta de la dieta control.

Cuadro 8. Incremento absoluto de longitud de caparazón (cm) en juveniles de tortuga blanca, *Dermatemys mawii*, alimentadas con diferentes dietas. Promedio y desviación estándar.

D ieta	Período (Mes)				Total
	1	2	3	4	
A nimal	0.19 ± 0.23	0.35 ± 0.26	0.22 ± 0.19	0.24 ±0.20	1.00 ± 0.68
C ontrol	0.17 ± 0.25	0.33 ± 0.26	0.04 ± 0.10	0.18 ±0.16	0.71 ± 0.49
V egetal	0.09 ± 0.18	0.28 ±0.18	0.23 ± 0.21	0.16 ± 0.28	0.76 ± 0.58

Cuadro 9. Incremento relativo de longitud de caparazón (cm) en juveniles de tortuga blanca, *Dermatemys mawii*, alimentadas con diferentes dietas. Promedio y desviación estándar.

D ieta	Período (Mes)				Total
	1	2	3	4	
A nimal	0.81 ± 0.97	1.47 ± 1.08	0.89 ± 0.80	0.99 ± 0.82	4.24 ± 2.82
C ontrol	0.73 ± 1.11	1.43 ± 1.07	0.17 ± 0.44	0.75 ± 0.68	3.12 ± 2.16
V egetal	0.41 ± 0.85	1.21 ± 0.79	0.93 ± 0.86	0.69 ± 1.15	3.30 ± 2.71

Durante el estudio no hubo mortalidad ni signos patológicos externos entre los organismos de cada tratamiento; por lo que clínicamente se consideraron individuos aparentemente sanos.

DISCUSIÓN

Este trabajo abordó aspectos para el manejo nutricional de *Dermatemys mawii* bajo condiciones de cautiverio. El estudio de la capacidad digestiva de organismos acuáticos con el propósito de mejorar la eficiencia en la producción ha sido abordado más extensamente en peces (Alarcón et al., 2002; Tibbetts et al., 2011, Cuenca-Soria et al., 2013) e invertebrados (Ezquerro et al., 1997; Areekijserree et al., 2004). Para tortugas, se cuenta con escasos antecedentes para la tortuga de orejas rojas *Trachemys scripta elegans* (Sun et al., 2007) y la tortuga china de caparazón blando *Pelodiscus sinensis* (Zou et al., 2011).

Se determinaron algunos valores operacionales de la actividad de las proteasas y lipasas digestivas de *D. mawii*. En cuanto su actividad, se demostró que dichas enzimas son capaces de transformar sustratos tanto de origen animal, como vegetal. Esta especie es reconocida como herbívora, sin embargo, cuenta con la capacidad de transformar fuentes de origen animal. Gil-Alarcón et al. (2006) mencionan que dentro de la dieta natural de la especie, existen evidencias del consumo, aparentemente incidental, de pequeños peces, moluscos y crustáceos. Un cambio ontogénico en la dieta es reconocido en varias especies de tortugas, que cuando juveniles consumen dietas primordialmente carnívoras hacia dietas básicamente herbívoras conforme van creciendo (McCauley y Bjorndal, 1999). En este caso, el consumo de fuentes de origen animal permite a los juveniles cubrir más eficientemente las demandas energéticas y crecer más rápidamente.

La selección de ingredientes para la formulación de las dietas correspondió a alternativas económicas y accesibles para la fabricación del alimento artificial. Aunque la harina de calamar presentó los máximos indicadores de

digestibilidad, no pudo ser considerada en el diseño de las dietas experimentales debido a su escasez en el mercado, ya que es un insumo no manufacturado en México. Adicionalmente, la harina de calamar presenta alto costo y distribución restringida a altos volúmenes de compra, lo cual imposibilitó su adquisición. La harina de pescado fue la opción elegida, aunque también presenta dificultades de obtención. Otras fuentes de proteína animal, accesibles y económicas, que a futuro pueden considerarse son harinas derivadas de la producción avícola y porcina.

Las dietas artificiales demostraron ser eficaces para la crianza de tortuga blanca, y mejores indicadores de crecimiento sobre la dieta control, de uso convencional. La dieta con fuentes proteínicas de origen vegetal tuvo una respuesta negativa al inicio del experimento, cuando incluso las tortugas perdieron peso; sin embargo, en los periodos subsecuentes del ensayo, presentó una recuperación significativa. Esta situación podría deberse a un lapso de ajuste más prolongado al cambio a la dieta vegetal a partir de la dieta previa al inicio del experimento (la misma dieta control). Por otro lado, la dieta animal mostró mayor efecto durante la primera fase del experimento, pero dadas las condiciones de confinamiento, los estanques donde esta dieta se suministró estuvieron más expuestos a la radiación solar, situación que se corrigió tras el periodo 1 del ensayo. Esto evidencia la importancia de la temperatura sobre el desarrollo de las tortugas, ya que son organismos ectotermos, y se desarrollan más rápido a altas temperaturas debido al incremento en sus tasas metabólicas (Zuo et al., 2012).

La fabricación de alimento balanceado para la crianza de tortuga blanca supone un incentivo a su producción, ya que facilita el suministro de alimento a cantidades numerosas de organismos. Un asunto a considerar son los costos de fabricación en comparación a la compra del alimento convencional para tilapia, que podría favorecer aún más las iniciativas en la producción de esta tortuga, aunque requiere refinamiento en el proceso de manufactura y manejo del producto.

CONCLUSIONES

La tortuga blanca posee la capacidad digestiva de transformar fuentes de alimento de origen animal y vegetal, a partir del conocimiento de la acción de sus enzimas digestivas. Dos dietas a partir de estudios sobre la digestibilidad *in vitro* de diferentes materias primas empleadas para la fabricación de alimento balanceado demostraron una respuesta superior sobre el crecimiento que la dieta control, consistente en alimento de engorda para tilapia. Esta investigación es pionera para el campo de la nutrición de quelonios mexicanos, y abre la línea de trabajo para el manejo nutricional de especies acuáticas no convencionales con fines de aprovechamiento.

REFERENCIAS

- Alarcón, F. J., Moyano, F. J. y Díaz, M. (2002). Evaluation of different protein sources for aquafeeds by an optimised pH-stat system. *J. Sci. Food Agric.*, 82: 697-704.
- Álvarez-González, C.A. (2003). *Actividad enzimática digestiva y evaluación de dietas para el destete de larvas de la cabrilla arenera Paralabrax maculatofasciatus (Percoidei: Serranidae)*. (Tesis doctoral). CICIMAR. La Paz, Baja California, México.
- Anson, M. L. (1938). The estimation of pepsin, trypsin, papain and cathepsin with hemoglobin. *The Journal of General Physiology* 22, 79-89.
- Areekijsee, M., Engkagul, A., Kovitvadhi, U., Thongpan, A., Mingmuang, M., Pakkong, P., y Rungruangsak-Torrissen, K. (2004). Temperature and pH characteristics of amylase and proteinase of adult freshwater pearl mussel, *Hyriopsis (Hyriopsis) bialatus* Simpson 1900. *Aquaculture*, 234(1), 575-587.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72, 248- 254.
- Church, F. C., Swaisgood, H. E., Porter, D. H., Catignani, G. (1983). Spectrophotometric assay using o-phthaldehyde for determination of proteolysis in milk proteins. *Journal of Dairy Science* 66, 1219-1227.
- Cuenca-Soria, C. A., Álvarez González, C. A., Ortiz-Galindo, J. L., Guerrero-Zárate, R., Perera-García, M. A., Hernández-Gómez, R. E., Nolasco-Soria, H. (2013). Digestibilidad *in vitro* de ingredientes proteínicos en la mojarra castarrica *Cichlasoma urophthalmus*. *Universidad y ciencia*, 29(3), 263-275.
- De Silva, S. S., y Anderson, T. A. (1995). Fish nutrition in aquaculture (Vol. 1). [e-book] London: Chapman y Hall. Disponible en: Google Books <<http://booksgoogle.com>> [Visitado el 14 de noviembre de 2013].

- Dimes, L. E., Haard, N. F. (1994). Estimation of protein digestibility- I. Development of an in vitro method for estimating protein digestibility in salmonids. *Comparative Biochemistry and Physiology A* 108, 349-362.
- Ezquerro, J. M., García-Carreño, F. L., Civera, R., y Haard, N. F. (1997). pH-stat method to predict protein digestibility in white shrimp (*Penaeus vannamei*). *Aquaculture*, 157(3-4), 251-262.
- Gil-Alarcon, G, C. E. Zenteno-Ruiz y V. H. Reynoso-Rosales. (2006). Hábitos alimentarios de *Dermatemys mawii* (TESTUDINES: DERMATEMYDIDAE) en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco, México. Resúmenes IX Reunión Nacional de Herpetología. Monterrey, Nuevo León, México.
- Guerrero-Zarate, R. (2010). *Evaluación de la capacidad digestiva del pejelagarto (Atractosteus tropicus)* (Tesis de maestría). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, México.
- IUCN. (2013). IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.1. [En línea]. Disponible en <www.iucnredlist.org>. [Visitado el 18 de octubre de 2013].
- Kunitz, M. (1947). Crystalline soybean trypsin inhibitor II. General properties. *The Journal of General Physiology* 30, 291-310.
- McCauley, S.J., Bjorndal, K. A. (1999) Response to dietary dilution in an omnivorous freshwater turtle: implications for ontogenetic dietary shifts. *Physiological and Biochemical Zoology* 72(1), 101-108. doi:10.1086/316642
- Moyano-López, F. J. (2006). Bioquímica digestiva en especies acuicultivadas: aplicaciones en nutrición. Memorias del VIII Simposio Internacional de Nutrición Acuícola, Nuevo León, México.
- Nolasco, H., Del Monte, A., Hinojosa, P., Civera, R., Vega, F. (2006). Digestibilidad *in vitro* de lípidos alimentarios para el camarón. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, México
- Oftedal O, Allen M. (1996). Nutrition as a major facet of reptile conservation. *Zoo Biology* 15,491 - 497

- Rangel-Mendoza, J., Weber, M., Zenteno-Ruiz, C.E., López-Luna, M.A. y Barba-Macías, E. (2009). Hematology and serum biochemistry comparison in wild and captive Central American river turtles (*Dermatemys mawii*) in Tabasco, Mexico. *Research in Veterinary Science* 87, 313-318.
- Rangel-Mendoza, J., Sánchez-Gonzales, I. A., López-Luna, M. A. y M. Weber. (2014). Health and environmental assessments of captive Central American river turtles (*Dermatemys mawii*) in two farms at Tabasco, Mexico. *Chelonian Conservation and Biology* 13(1), 96-109.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección Ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. México: Diario Oficial de la Federación, Publicada el 30 de diciembre de 2010.
- Saunders, R.M, Conner, M.A, Booth, A.N, Bickoff, E.M, y Kohler, G.O. (1972). Measurements of digestibility of alfalfa concentrate by *in vivo* and *in vitro* methods. *Journal of Nutrition* 103, 530-535.
- Sun, J.-Y., Du, J., Quian, L.-C., Jing, M.-Y. y Weng, X.-Y. (2007). Distribution and characteristics of endogenous digestive enzymes in the red-eared slider turtle, *Trachemys scripta elegans*. *Comparative Biochemistry and Physiology A: Molecular y Integrative Physiology*, 147(4), 1125-1129.
- Tibbetts, S. M., Milley, J. E., Ross, N. W., Verreth, J. A. J., y Lall, S. P. (2011). *In vitro* pH-Stat protein hydrolysis of feed ingredients for Atlantic cod, *Gadus morhua*. 1. Development of the method. *Aquaculture*, 319(3), 398-406.
- TSA [Turtle Survival Alliance]. (2013). About us [en línea]. Disponible en <www.turtlesurvival.org> [Visitado el 14 de Noviembre de 2013].
- Versaw, W., Cuppett, S. L., Winters, D. D., y Williams, L. E. (1989). An improved colorimetric assay for bacterial lipase in non-fat dry milk. *Journal of Food Science* 54, 232-254.
- Walter, H. E. (1984). Proteinases: methods with hemoglobin, casein and

azocoll as substrates. In: H. J. Bergmeyer, (Ed). *Methods of Enzymatic Analysis*. Vol. V. (pp. 270-277). Weinheim, Alemania: Verlag Chemie.

Zou, Y., Ai, Q., y Mai, K. (2011). Ontogenic development of digestive enzyme activities in juvenile soft-shelled turtle (*Pelodiscus sinensis*) under cultured conditions. *Front Agric China*, 5(4), 624-630.

Zuo, W., Moses, M. E., West, G. B., Hou, C., y Brown, J. H. (2012). A general model for effects of temperature on ectotherm ontogenetic growth and development. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1734), 1840-1846. doi:10.1098/rspb.2011.2000

Distribución potencial histórica y contemporánea del orden de los Falconiformes EN TABASCO, MÉXICO

Yazmin del Carmen Rosique De la Cruz⁴
Coral Jazvel Pacheco Figueroa
Ruth del Carmen Luna Ruíz
Juan de Dios Valdez Leal

RESUMEN

El grupo de las aves son de suma importancia dentro de los ecosistemas, debido a que ellas desarrollan diferentes tareas dentro de los mismos. Algunas cuentan con más información bibliográfica que otras, esto dependerá de la simpatía que causen en las personas. Para este estudio se utilizaron los datos de presencia con los que se cuenta para las especies de *Caracara cheriway*, *Falco femoralis*, *Falco sparverius*, *Herpetotheres cachinnans*, estos datos nos ayudaron a construir los modelos de distribución potencial para estas especies en dos escenarios, uno histórico (1950-1999) y el otro actual (2000-2017). Del presente estudio, se obtuvo un total de 700 registros de presencia para nuestras especies, con los cuales se realizaron los modelos de distribución potencial de acuerdo a la clasificación establecida. Se puede observar que las cuatro especies pertenecientes al grupo de las Falconiformes, pierden área de distribución, al igual que cambian el espacio en el que se distribuyen, esta modificación del espacio podría estar determinada por los requerimientos y necesidades que los ejemplares necesitan. De acuerdo a los resultados, las variables con mayor porcentaje en todos los modelos son de temperatura, lo que indica también que las aves se desplazan en función las temperaturas favorables.

⁴ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas. Estudiante de Maestría en Ciencias Ambientales

INTRODUCCIÓN

El Grupo de las aves es de suma importancia dentro de la Biodiversidad debido a los diferentes servicios ecosistémicos que cumplen dentro de los ambientes, tales como dispersores de semillas, control de plagas, en algunos casos son polinizadoras, reguladoras de poblaciones, recicladoras de energía y por supuesto también han sido buenos indicadores del estado de conservación de los hábitat en los que se encuentran (Arriaga-Weiss, Calmé, y Kampichler, 2008; Feria Arroyo et al., 2013).

Dentro de este grupo de vertebrados se encuentra el orden de las Falconiformes que comprende 292 especies de las cuales 222 se encuentran distribuidas en las zonas tropicales (Bildstein, Schelsky, y Zalles, 1998). En México se tiene registro que hay 57 especies de aves rapaces diurnas, de las cuales el 74 % se encuentra en la NOM-059-SEMARNAT-2010, en alguna de las categorías de riesgo (Avibase, 2006).

Estas son aves depredadoras o carroñeras lo cual hace que sea un grupo esencial para mantener el equilibrio en las comunidades debido a las posición que ocupan en la cadena trófica, ya que son consideradas depredadores tope, además de que son indicadores de la calidad de hábitat (Carmona et al., 2017; Sergio, Newton, y Marchesi, 2008).

En México los ambientes se siguen transformando por las diferentes acciones antropogénicas que se realizan, estas alteraciones van en aumento, modificando y transformando el entorno en diferentes tipos de vegetación, haciendo junto con ello que la fauna silvestre se vea obligada a modificar los patrones de distribución de acuerdo a los requerimientos necesarios, tal es el caso de las aves rapaces (Albores, Tinajero, Vargas, y Chapa, 2017; Carmona et al., 2017; Rivera-Rivera, Enríquez, Flamenco-Sandoval, y Rangel-Salazar, 2012).

La importancia que cae en este grupo es por los diferentes beneficios ecosistémicos que realizan en el ambiente, en Tabasco la información que se ha generado es muy poca, a pesar de que se encuentran presentes en el entorno.

OBJETIVO

Evaluar la distribución histórica y contemporánea de cuatro especies del grupo de los Falconiformes en el estado de Tabasco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se modeló el área de distribución potencial de cuatro especies pertenecientes al orden de los falconiformes en el estado de Tabasco a partir de datos de presencia de las especies y variables ambientales, utilizando el modelo de máxima entropía (MaxEnt) (Phillips, Anderson, y Schapire, 2006) (WWW.CS.Princeton.edu/schapire/maxent). Para ello se siguieron tres fases:

1) Obtención de registros y parámetros ambientales.

Se seleccionaron cuatro especies del grupo de los falconiformes, tres son residentes y una es migratoria. Se realizó la búsqueda de los registros de presencia de cada una, los cuales se obtuvieron mediante revisiones de base de datos como lo son GBIF (GBIF, 2017) y la CONABIO (REMIB, n.d.) e informes técnicos.

Se eliminaron aquellos registros que no contenían fecha de observación, y posteriormente se realizó una limpieza de los datos, eliminando aquellos puntos que se encontraran a una distancia menor de 1km. Esta limpieza se efectuó mediante el programa de Niche Toolbox de CONABIO (<http://shiny.conabio.gob.mx:3838/nichetoolb2/>), quedando un total de 700 datos de registros para nuestros ejemplares.

Las variables climáticas se obtuvieron de WORLDCLIM (<http://www.worldclim.org/>). Esta base contiene un grupo de 19 datos bioclimáticos que corresponden a capas climáticas globales (grids de 20x20 km), con una resolución de 1 km².

2) Generación del modelado del área

Los modelos de distribución de especies se realizaron por medio de MaxEnt (Phillips et al., 2006) (www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent). Para correr el proceso se utilizó el 75% de los datos para generar el modelo y el 25% para validar, esto solo se empleó para el grupo de datos que tuvieran más de 20 datos de presencia. A aquellos grupos que tenían entre ocho y 19 registros, no se asignaron datos para validar, sino que se consideró el total de datos. El control de ajuste de los modelos se realizó mediante el estadístico AUC o área bajo la curva.

Se generaron dos mapas de distribución potencial para cada una de las especies en base a los registros de presencia, mostrando la distribución potencial de estas en dos momentos, el primero de 1950 a 1999 y el siguiente el periodo de 2000 al 2017. Como siguiente paso los mapas se reclasificaron aplicando como umbral de corte el Minimum Training Presence (mínimo de presencia) de los puntos de entrenamiento (Cuyckens, E., Perovic, y Tognelli, 2010).

Posteriormente se realizó la comparación de los escenarios de distribución y se determinaron cuáles son las diferencias principales. Las diferencias se estimaron realizando una cuadrícula y contabilizando las áreas diferenciadas en la misma.

RESULTADOS

1) Obtención de registros

Se obtuvo un total 36,919 registros para todo el país de las especies seleccionadas, quedando para Tabasco después de las limpiezas establecidas únicamente el 1.4%, que corresponde a 518 datos (Cuadro 1).

Cuadro1.- Registros obtenidos para los Falconiformes. R=Residente; M=Migratorio.

Estatus Residencial	Especie	Total de registros en México	Total de registros en México	Registros para Tabasco	
				1950-1999	2000-2017
R	<i>Caracara cheriway</i>	2058	740	22	179
	<i>Falco femoralis</i>	3613	392	12	60
M	<i>Falco sparverius</i>	20915	4981	18	31
R	<i>Herpetotheres cachinnans</i>	6877	1306	14	154

2) Generación del modelado del área

Se generaron 10 mapas de distribución potencial, dos mapas para cada una de las especies de acuerdo al periodo de tiempo establecido, los cuales se encuentran clasificados en dos categorías, PRESENCIA y AUSENCIA (Figuras 1 y 2). Una vez elaborados los modelos se observó el movimiento

que las especies han tenido en estos dos periodos, mostrando la disminución del área en los escenarios actuales (Cuadro 2).

Cuadro2.- Porcentaje de área predicha para cada espacio temporal.

Especie	Presencia (%)	
	1950-1999	2000-2017
<i>Caracara cheriway</i>	3.6	0.4
<i>Falco femoralis</i>	33.8	2.0
<i>Falco sparverius</i>	9.8	9.0
<i>Herpetotheres cachinnans</i>	9.4	1.5

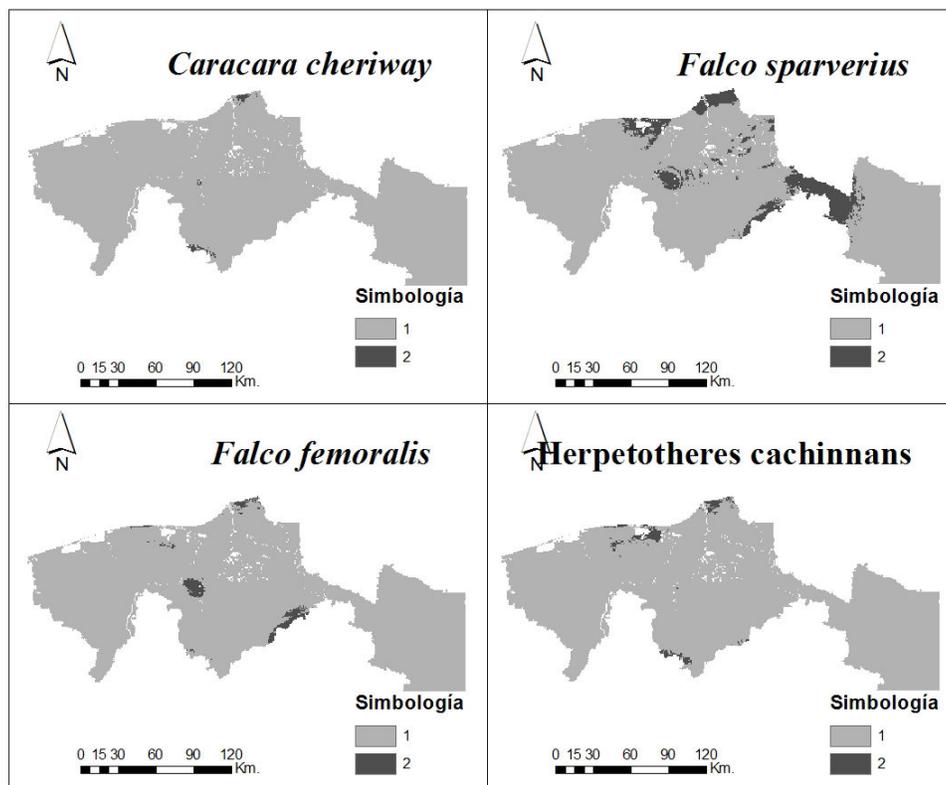


Figura 1.- Distribución potencial histórica (1950-1999).

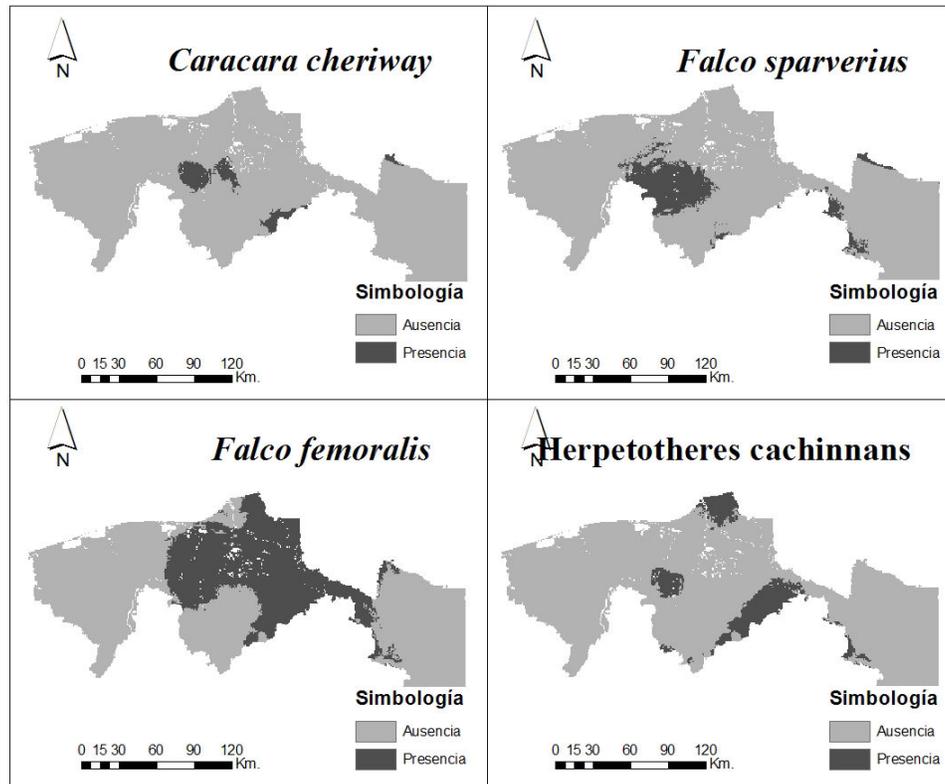


Figura 2.- Distribución potencial Actual (2000-2017).

3) Evaluación del Modelo

El AUC de la curva ROC para cada uno de los modelos fue mayor a 0.5, lo que indica que los modelos tienen una buena capacidad para predecir (Martínez, 2010). Se puede observar cuál de las variables tuvo un mayor aporte al modelo. En el caso de *Falco femoralis*, en el periodo de 1950 a 1999, la variable que está aportando casi toda la información es la Bio_11 (Temperatura media del mes más frío) y en el siguiente periodo analizado la variable con más aporte fue la BIO-6 (Temperatura mínima del mes más frío). Para la especie *Falco sparverius* que es un ave migratoria, las variables que más están aportando en ambos periodos son la BIO_2 que es el rango medio (1950-1999) y BIO_4 que es la estacionalidad de la temperatura (2000-2017).

Cuadro 3.- Valores de AUC, el *Minimum training presense* y variables con mayor aporte obtenido para los modelos de distribución de nuestras aves.

E specie	1950-1999				2000-2017			
	AUC	ini mu m trai nin g pre sen ce	A porte de Varia bles %		AUC	ini mu m trai nin g pre sen ce	A porte de Varia bles %	
<i>Caraca ra cheriway</i>	.745	0.6 26	B io_5	6.3	.821	0.8 16	B io_6	0.1
			B io_2	0.3			B io_13	8.7
<i>Falco femoralis</i>	.807	0.3 99	B io_11	9.1	.839	0.7 31	B io_10	7
			B io_19	.7			B io_6	4.7
<i>Falco sparverius</i>	.867	0.5 79	B io_2	5.4	.898	0.4 85	B io_4	8.5
			B io_19	2.9			B io_10	9.8
<i>Herpeto theres</i>	.832	0.5 97	B io_10	8.9	.834	0.7 39	B io_8	6.9

<i>cachinnans</i>			B			B
			io_4	4.9		io_4 0.4

*AUC=Área bajo la Curva ROC; *BIO2=Rango medio; *BIO4=Estacionalidad de la Temperatura; *BIO5=Temperatura máxima del mes más caluroso; *BIO6: Temperatura mínima del mes más Frio; *BIO8: Temperatura media del trimestre más húmedo; *BIO10=Temperatura media del trimestre más caluroso, *BIO11=Temperatura media del mes más frio; *BIO19=Precipitación del trimestre más frio.

DISCUSIÓN

Los modelos de distribución de las especies predicen mejor su presencia en el área estudiada. De acuerdo con Martínez (2010), si los datos de entrenamiento se ajustan bien al modelo ($p > 0.9$) se estará indicando la capacidad del modelo para predecir, si los datos de prueba son menores ($p \leq 0.5$) y se encuentran por debajo de la línea diagonal no son buenos predictores. Todas nuestras curvas tienen un AUC por encima de $p < 0.5$.

En México se han realizado diferentes estudios sobre modelación de especies, los cuales tienen cierta similitud con los resultados obtenidos en nuestras curvas ROC. Todos los estudios muestran curvas con un AUC por encima de $p < 0.5$, por lo cual consideran que sus modelos son mejores que lo esperado al azar. Los modelos tienen errores al predecir, aunque la distribución es muy cercana a la reportada para dichas especies (Ibarra-Montoya et al., 2012; Pearson et al., 2006). Tal es el caso de nuestras distribuciones potenciales las cuales nos muestran una similitud en la distribución que otros autores han reportado.

En cuanto a la información que se tiene sobre el grupo de los falconiformes es muy limitada. Se observó, que a pesar de que se evaluó un poco más de media década, solo se obtuvieron 700 registros para nuestros organismos, indicando de esta manera que son pocos los estudios que se

tienen sobre este grupo, esto sin importar el lugar que ocupan dentro de la cadena trófica o la importancia que cae sobre ellos al mantener el equilibrio en el ecosistema (Carmona et al., 2017; Gil-Sanchez, Molino Garrido, y Valenzuela Serrano, 1999; Sergio et al., 2008).

Durante el análisis de los datos se observó que las cuatro especies pertenecientes al grupo de las falconiformes, pierden área de distribución, al igual que cambian el espacio en el que se distribuyen. El territorio tabasqueño ha sufrido desde 1950 diferentes modificaciones, desde la alteración de selva para el desarrollo de las actividades agrícolas y ganaderas que se desarrollan en el Estado, hasta la demanda de tierra por el aumento del número de población, dando como resultado la transformación completa de los hábitats que existían. Cabe destacar que las limitantes del desplazamiento de estas aves, son la disponibilidad de hábitat de forrajeo donde pueden encontrar alimento y la disponibilidad de área de permanencia durante la época no reproductiva (Inzunza, 2010). Es posible que estos organismos cambien los patrones de distribución de acuerdo a las necesidades alimenticias y a las diferentes presiones antropogénicas que se ejercen sobre ellos, como: la mortandad a lo largo de carretera y a causa de los cables de energía, caza incidental y directa y contaminación por plaguicidas, solo por mencionar algunos (Albores et al., 2017; Inzunza, 2010; Macouzet, 2007; Morrison, 1999).

Otro factor que estaría limitando o ayudando a la distribución de estos organismos sería la temperatura, ya que de acuerdo a los resultados las variables con mayor porcentaje en todos los modelos fueron las variables de temperatura. Tabasco es un estado que cuenta con temperaturas mínimas de hasta de 16°C y máximas extremas de 40°C, el rango anual de temperatura está entre los 25 y 26°C (SMN, 2010), pero estas temperaturas se han visto modificadas a lo largo de décadas. Se ha registrado que el incremento de las temperaturas no solo provoca modificaciones a los ecosistemas (Kaeslin,

Redmond, y Dudley, 2013) sino que afecta a las aves, principalmente las de regiones tropicales (Şekercioğlu, Primack, y Wormworth, 2012; Sekercioglu, Schneider, Fay, y Loarie, 2008). Lo cual nos podría indicar que estas aves están siendo influidas de acuerdo a las temperaturas favorables para cada una de ellas.

Algunos de los problemas a los cuales se tienen que enfrentar este y otros grupos de fauna silvestre son a los patógenos o vectores de enfermedades, los cuales son resultados de los cambios en patrones de temperatura, estacionalidad y precipitación (Harvell, 2002), contribuyendo de manera significativa las actividades antropogénica (Kaeslin et al., 2013).

Se tienen estudios en los cuales se indican que este grupo de aves prefieren espacios en los cuales las condiciones ambientales cumplan con sus requerimientos como el de reproducción, descanso y alimentación (Mackenzie y Royle, 2005; Sergio et al., 2008). Por lo cual si tienen la capacidad de movimiento ellos se desplazarán en el tiempo de acuerdo a las condiciones ecológicas óptimas.

CONCLUSIONES

Todos los modelos generados para las cuatro especies del orden de los falconiformes del estado de Tabasco, pueden considerarse como eficientes ya que fueron más confiables para predecir presencias que ausencias con un ajuste que se puede considerar bueno.

Los cambios observados en los dos tiempos evaluados para todas las especies, fueron en una disminución drástica en cuanto a territorio y son pequeñas partes de la zona de la costa donde las especies se encuentran presentes.

Es necesario realizar más estudios de estas aves en el estado de Tabasco, debido a la poca información con la que contamos para estas especies, además que es de suma importancia identificar las afectación que se están realizando sobre estas especies, debido a que *cuando* se perjudica a los animales que se encuentran en el tope de las cadenas alimenticias se daña el ecosistema, provocando disturbios en el entorno.

Dentro de las recomendaciones se propone evaluar más a fondo cual es el impacto de las zonas urbanas e infraestructura sobre cada una de las especies.

REFERENCIAS

- Albores, J. E. R., Tinajero, R., Vargas, y Chapa, L. (2017). Cara a cara con El quebrantahuesos. *CONABIO.Biodiversitas*, 130, 12-16.
- Arriaga-Weiss, S. L., Calmé, S., y Kampichler, C. (2008). Bird communities in rainforest fragments: Guild responses to habitat variables in Tabasco, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 17(1), 173-190. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9238-7>
- Avibase. (2006). Avibase - The world bird database. Retrieved August 30, 2017, from <https://avibase.bsc-eoc.org/avibase.jsp?lang=EN>
- Bildstein, K. L., Schelsky, W., y Zalles, J. (1998). Conservation Status of Tropical Raptors. *J. Raptor Res*, 32(1), 3-18. <https://doi.org/10.7550/rmb.21364>
- Carmona, R., Mendoza, L. F., Molina, D., Ortega, L., Miramontes, E., y Miguel, C. (2017). Spatial and temporal presence of diurnal raptors (aves: accipitriformes, falconiformes) at marismas nacionales, Nayarit-Sinaloa, México. *Acta Zool. Mex. (N.s.)*, 33(1), 27-38.
- Cuyckens, E., G. A., Perovic, P., y Tognelli, M. F. (2010). La quebrada de humahuaca y su influencia en la distribución de los félidos en la provincia de jujuy (argentina). *BioScriba*, 3(1), 35-45.
- Feria Arroyo, T. P., Sanchez-Rojas, G., Ortiz-Pulido, R., Bravo-Cadena, J., Calixto Perez, E., Dale, J. M., ... Valencia-Herverth, J. (2013). Study of the climate change and its effect on birds in Mexico: present focuses and future perspectives. *Huitzil*, 14(1), 47-55. Retrieved from www.huitzil.net
- GBIF. (2017). GBIF. Retrieved August 30, 2017, from <https://www.gbif.org/>
- Gil-Sanchez, J. M., Molino Garrido, F. M., y Valenzuela Serrano, G. (1999). Distribución y estatus de las aves rapaces (Falconiformes y Estrigiformes) de la provincia de Granada (1990-1996). *Zoológica Baetica*.
- Harvell, C. D. (2002). Climate Warming and Disease Risks for Terrestrial and Marine Biota. *Science*, 296(5576), 2158-2162. <https://doi.org/10.1126/science.1063699>

- Ibarra-Montoya, J. L., Rangel-Peraza, G., González-Farías, F. A., Anda, J. De, Martínez-Meyer, E., y Macías-Cuellar, H. (2012). Uso de modelagem de nicho ecológico como ferramenta para previsão da distribuição potencial de *Microcystis* sp (cyanobacteria), na Usina Hidrelétrica de Aguamilpa, Nayarit, México. *Revista Ambiente E Agua*, 7(1), 218-234. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Inzunza, R. (2010). rapaces. *CONABIO.Biodiversitas*, 2, 11-15.
- Kaeslin, E., Redmond, I., y Dudley, N. (2013). *La fauna silvestre en un clima cambiante*. FAO. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i2498s.pdf>
- Mackenzie, D. I., y Royle, J. A. (2005). Designing occupancy studies: General advice and allocating survey effort. *Journal of Applied Ecology*, 42(6), 1105-1114. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01098.x>
- Macouzet, T. (2007). Ficha técnica de *Falco femoralis septentrionalis*. Escalante, P. (compilador). "Fichas Sobre Las Especies de Aves Incluidas En El Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM- ECOL-2000. Parte 2". Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases, 1-6.
- Martínez, N. (2010). Apuntes sobre modelación de nichos ecológicos. *Laboratorio de Evolución Molecular Y Experimental, Del Instituto de Ecología de La UNAM*, 66.
- Morrison, J. L. (1999). Breeding biology and productivity of Florida's Crested Caracaras. *The Condor*, 101(August 1993), 505-517.
- Pearson, R. G., Thuiller, W., Araújo, M. B., Martínez-Meyer, E., Brotons, L., McClean, C., ... Lees, D. C. (2006). Model-based uncertainty in species range prediction. *Journal of Biogeography*, 33(10), 1704-1711. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01460.x>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., y Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*, 190, 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- REMIB. (n.d.). Colecciones de la REMIB. Retrieved August 30, 2017, from <http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remibnodosdb.html>
- Rivera-Rivera, E., Enríquez, P. L., Flamenco-Sandoval, A., y Rangel-Salazar, J.

L. (2012). Ocupación y abundancia de aves rapaces nocturnas (Strigidae) en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(3), 742-752. <https://doi.org/10.7550/rmb.21364>

Şekercioğlu, Çağan H., Primack, R. B., y Wormworth, J. (2012). The effects of climate change on tropical birds. *Biological Conservation*, 148(1), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.10.019>

Sekercioglu, C. H., Schneider, S. H., Fay, J. P., y Loarie, S. R. (2008). Climate change, elevational range shifts, and bird extinctions. *Conservation Biology*, 22(1), 140-150. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00852.x>

Sergio, F., Newton, I., y Marchesi, L. (2008). Top predators and biodiversity: Much debate, few data. *Journal of Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01484.x>

Estructura de la comunidad de mamífero en áreas naturales protegidas de tabasco

Francisco Javier Hernández Sánchez⁵
Juan de Dios Valdez-Leal
Coral Jazvel Pacheco-Figueroa
Eduardo Javier Moguel-Ordoñez

RESUMEN

El presente estudio se realizó en tres áreas naturales protegidas en los municipios de Macuspana (PEAB), Tacotalpa (PES) y Tenosique (APFFCU), con el objetivo de conocer la estructura de los mamíferos que se encuentran en Áreas Naturales Protegidas de Tabasco. La vegetación analizada corresponde a relictos de selva y abarcaron la temporada de lluvias (2014) y secas (2015). Para cada temporada, se trabajó en cada estación por tres días. Se utilizaron métodos de observación directa e indirecta por medio de transectos de 500 m, redes de niebla y trampas. Se registraron un total de 1,320 individuos y 68 especies. De las tres ANP el PEAB obtuvo la riqueza más alta con 57 especies, seguida del PES (33) y el APFFCU (31). El orden Chiroptera fue el más rico con 32 especies. Las especies más abundantes fueron el *Artibeus jamaicensis* (n=184) y *Alouatta villosa* (n=163). El gremio alimenticio mejor representado es el de los frugívoros los cuales ayudan a la dispersión de semillas. Además se registraron 20 especies en alguna categoría de protección por la NOM-059-SEMARNAT-2010. Hasta el momento las tres zonas representan el 44.8% de los mamíferos del Estado de Tabasco, considerándose áreas importante en la diversidad de este grupo.

⁵ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas. Estudiantes de Maestría en Ciencias Ambientales.

INTRODUCCIÓN

En México, existen zonas del territorio nacional denominadas Áreas Naturales Protegidas (ANP) donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad humana, y que están sujetas a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo, según categorías establecidas en las leyes de jurisdicción federal y estatal (CONANP, 2017).

Las ANP han sido probadas para albergar importante biodiversidad, mantener áreas con ecosistemas representativos que aseguren la continuidad evolutiva y procesos ecológicos, dentro de las cuales, se ha estudiado la riqueza y diversidad de los mamíferos al ser un grupo importante en la ecología de los bosques. Estos sitios son efectivos en la reducción de amenazas antropogénicas (Bruner et al., 2001), y son vitales para la preservación a escala regional y global de las especies que albergan (Margules y Pressey, 2001).

En México, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) administra actualmente 182 ANP's que representan más de 908,395.20 ha. El estado de Tabasco cuenta con dos ANPs de carácter federal, como es la reserva de la Biosfera Pantanos de Centla (RBPC) y el Área de Protección de Flora y Fauna Cañón del Usumacinta (APFFCU), entre las dos cubren un área de 348,835,11 ha (SEMARNAT y CONANP, 2015). Las 11 restantes son estatales, cubriendo 26,967.61 ha, donde se encuentran dos de las zonas estudiadas el Parque Estatal Agua Blanca (PEAB) y el Parque Estatal de la Sierra (PES) (CONANP, 2001).

La flora y fauna, son muy importante en las ANP, debido a los servicios ambientales que ofrecen, que son producto de las funciones ecológicas de

cada organismo. De acuerdo a Granados-Sánchez, Ruíz-Puga, y Barrera-Escorcia (2008), los mamíferos ayudan a estimular el crecimiento de los meristemas, en la dispersión de semillas y polinización de las flores. Son excelentes controladores de poblaciones de animales que pudieran afectar la agricultura y la cubierta forestal (Driesche, Hoddle, Center, y Ruíz, 2007). Este grupo también funge como parámetro para conocer cómo se encuentra un ecosistema, debido que la presencia o la ausencia de ciertas especies determinan el grado de contaminación, degradación, fragmentación, pérdida de hábitat y también la pérdida de otras especies que son claves en su cadena trófica (Sánchez-Rojas et al., 2016).

OBJETIVO

Conocer la estructura de los mamíferos que se encuentran en Áreas Naturales Protegidas de Tabasco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: La zona de estudio se encuentra comprendida en tres ANP´s del Estado de Tabasco. En la primera, el PEAB fue decretado el 19 de diciembre de 1987 con una extensión territorial de 2,025 ha se ubica en la porción Oeste y Noreste de la región Sierra de Tabasco, en el municipio de Macuspana (CONANP, 2001). La segunda ANP, el PES, decretado el 24 de febrero de 1988, cuenta con una extensión de 15,113.21 ha, se localiza en la región centro-sur del Estado en los municipios de Teapa y Tacotalpa (CONANP, 2001). Como tercer ANP, el APFFCU decretada el 22 de septiembre de 2008, con una superficie de 46, 128, localizada en el municipio de Tenosique. (SEMARNAT y CONANP, 2015).

Etapas de campo: Se consideraron cuatro estaciones de monitoreo en áreas con vegetación de selva de las ANP´s mencionadas anteriormente, teniendo dos temporadas de muestreo lluvias 2014 y secas 2015. Para cada

temporada, se trabajó en cada estación por tres días efectivos, donde se utilizaron métodos directos e indirectos para la identificación de mamíferos.

Métodos directos

Murciélagos: Se utilizaron cuatro redes de niebla de 12 m de largo, las cuales fueron colocadas en áreas que se consideraron las más idóneas; las redes permanecieron abiertas en un horario de 19:00 a 24:00 horas, con revisiones cada 30 minutos (Sikes, Gannon, y Committee, 2007). Los individuos capturados fueron identificados con la guía de campo para murciélagos (Medellín, Arita, y Sánchez, 2008) y posteriormente se liberaron en el sitio de captura.

Mamíferos medianos y grandes: Se establecieron tres transectos lineales de 500 m de largo y con ancho variable en cada estación de muestreo. Se utilizó un GPS Garmin Modelo Etrex20 para la ubicación geográfica. Se realizaron recorridos para avistamientos diurnos, (5:00 a 9:00 hrs), así como nocturnos (19:00 a 22:00 hrs), los cuales fueron de acuerdo a los picos de actividad de las diferentes especies. Para la identificación de los individuos se utilizó la guías de campo de Reid (1997) y Aranda-Sánchez (2012).

Métodos indirectos

Búsqueda de rastros: Para la búsqueda de rastros (huellas, excretas, madrigueras, marcas en los árboles, huesos, restos de alimento, echaderos, comederos entre otros.) se realizaron recorridos por las mañanas en los tres transectos lineales de 500 m, y para cada una de las estaciones de muestreo. Para la identificación de rastros se usó la guía de campo de Aranda-Sánchez (2012). De manera general la nomenclatura taxonómica de las especies se basó en la propuesta de (Ramírez-Pulido, González-Ruiz, Gardner, y Arroyo-Cabrales, 2014).

Gremios alimenticios: se determinaron a partir de la literatura de González-Salazar, Martínez-Meyer, y López-Santiago (2014), considerando aspectos generales de la dieta de las especies. Las categorías fueron: carnívoros (ingieren carne), frugívoros (se alimentan de frutas), granívoros (ingieren semillas); hematófagos (se alimentan de sangres); herbívoros (Se alimentan de hojas, flores, frutos, tallos y semillas); insectívoro (comen insectos y otros invertebrados); nectarívoros (se nutren de néctar de las flores y polen); y omnívoros (ingieren todo tipo de alimento disponible).

Especies Normadas: Los datos sobre las categorías de riesgo en las que se encuentran las especies a nivel nacional están basados en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010).

RESULTADOS

Se registraron 1,320 individuos de 68 especies, los cuales se encuentran estructurados en ocho órdenes y 20 familias. El grupo de los Chiroptera fue el más representativo con 32 especies, seguida por los Rodentia con 12 especies. Las especies más abundantes durante el estudio, fueron *el Artibeus jamaicensis* (n=184) y el *Alouatta villosa* (n=163).

Analizando por ANP, el PEAB represento una riqueza de especie de 83%, mientras que el PES Y APFFCU reportan 47% cada una. El orden mejor representado en las tres ANP fueron los Chirópteros. En el APFFCU no se reportaron especies del orden Cingulata y Pilosa (Fig. 1). Es importante mencionar que de las 69 especies registradas, 22 se encuentran presentes dentro de la estructura de las tres ANP, destacando la presencia de *A. pollosa* y *Potos flavus* debido a que son especies que están en estatus de protección por la NOM-059-SEMARNAT-2010.

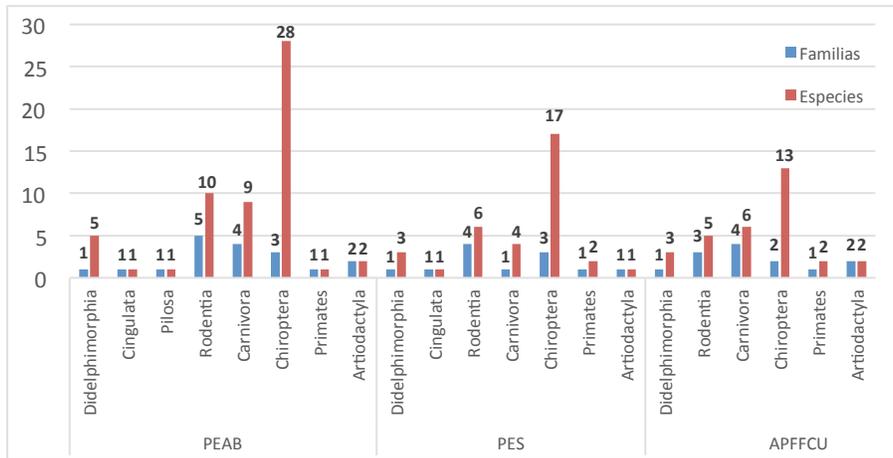


Figura 1: Estructura de la conformación de los mamíferos en el área de estudio.

Se registraron ocho gremios alimenticios, siendo los frugívoros los que están mejor representado con una riqueza de 23 especies que corresponde a 69.8% de la abundancia total. En las tres ANP´s ya mencionadas predomina el hábito frugívoro como el gremio de mayor relevancia con más del 60% de la abundancia de cada sitio, seguido de los nectarívoros con el 10% en cada ANP, siendo los murciélagos los que se encuentran representando en estas dos categorías (Fig. 2).

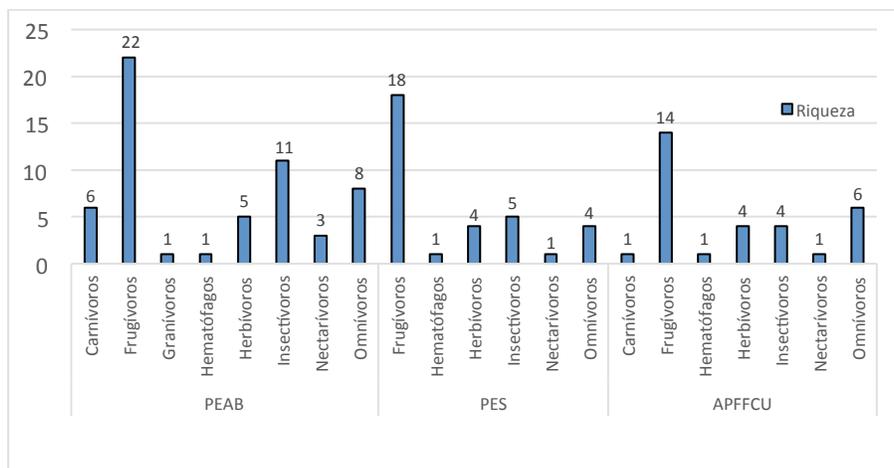


Figura 2: Estructura de los gremios alimenticios en el área de estudio.

Se registraron 20 especies en alguna categoría de riesgo por la NOM-059-SEMARNAT-2010, de las cuales ocho se encuentran en peligro de extinción (P), y ocho como especies amenazadas (A). En el PEAB se destacan especies como *Panthera onca* (P) y *Vampyrum spectrum* (P) que son los mamíferos más grandes respecto a su grupo y muy raros de observar. Mientras que en el APFFCU se reportó la presencia de *Leopardus wiedii* (P), que es el felino silvestre de menor tamaño en México, además la presencia de estas tres especies son indicadores de hábitat conservado (Fig. 3).

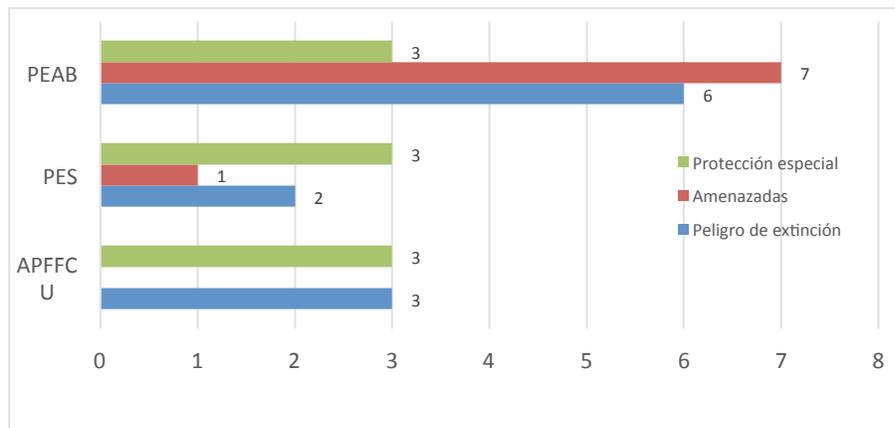


Figura 3: Estructura de la comunidad de mamíferos en algún estatus en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

DISCUSIÓN

Los registros del presente estudio, ayudan a elevar el número de especies reportadas en las ANP's que son estudiadas. Incluyendo los resultados de investigaciones realizadas en alguna de estas áreas como son Castro-Luna (1999); Castro-Luna, Sosa, y Castillo-Campos (2007) en el PEAB; (García-Morales, 2008; Gordillo-Chávez, 2007) en el PES y Guzmán y Bello-Gutiérrez (2006) en el APFFCU, reúnen una riqueza del 60 % de los mamíferos que se

distribuyen en Tabasco, lo cual indica que dichas áreas deben ser consideradas como importantes para el mantenimiento de este grupo.

De acuerdo a la estructura de la mastofauna, encontramos que el orden Chiroptera como el grupo más representativo del estudio, el cual equivale al 47% del total de los mamíferos. Los resultados encontrados son coincidente con la mayoría de las investigaciones acerca de la estructura de los mamíferos en las zonas tropicales, donde los murciélagos normalmente son la familia más abundante.

Respecto a las riquezas obtenidas de las diferentes ANP´s estudiadas, el PEAB obtuvo la mayor riqueza (57 sp), lo que equivale al 83.82% del total de las especies registradas para las tres ANP´s. El PEAB, únicamente reporta dos especies menos si sumamos los estudios de Gordillo (2006) y García (2008) en el PES. Por lo tanto se considera que el PEAB es una zona con una de las mayores riquezas reportadas para Tabasco.

En el área de estudio, el gremio frugívoro, insectívoro y nectarívoro cuentan con el 62 % de los registro, Mendoza-Sáenz y Horváth(2013), menciona que la diversidad de estos gremios indica el importante papel ecológico que desempeñan estos organismos, ya que pueden dispersar una gran variedad de semillas, consumir insectos que pueden ser plaga para varios cultivos, además de que estas especies ayudan a la polinización a varias especies de plantas.

Los carnívoros y omnívoros se encuentra conformado el 25% de las especies registradas las cuales son reconocidas por determinar la estructuración de las comunidades como depredadores, centrándose en el control de las poblaciones presa, su remoción puede conducir a la sobreabundancia de algunas especies y la disminución de otras, generando cambios estructurales en los ecosistemas terrestres (Pérez-Irineo y Santos-Moreno, 2013).

El gremio dominante es el frugívoro con el 34 % de las especies registradas siendo el orden Chiroptera los mejores representados, lo cual indica que son el grupo más efectivos en la dispersión de semillas en regiones tropicales de acuerdo a lo mencionado por García Morales et al. (2014). Las semillas que dispersan son en su mayoría especies pioneras y características de vegetación secundaria como Solanaceae, Piperaceae y Cecropiaceae (Ávila-Gómez et al., 2015; García Morales et al., 2014). Estas especies son claves en los procesos de regeneración de los bosques después de ocurrido un disturbio, ya que son de rápido crecimiento y alta tolerancia a las condiciones ambientales extremas que presentan los espacios deforestados.

CONCLUSIONES

El presente estudio presento un listado de 68 especies de mamíferos, lo cual hace que estos sitios sean de gran importancia en cuanto a la riqueza de este grupo en el Estado, así como en selvas del sureste donde la gran mayoría de los trabajos se encuentran por debajo de dicha riqueza. La riqueza de los mamíferos en las ANP´s, representan el 45% de las especies reportadas para Tabasco. En cuanto a la estructura se cuenta con el 67% de los órdenes y el 45% de las familias para el Estado. El PEAB fue el ANP con mayor número de mamíferos registrados (84%), con respecto al PES (49%) y APFFCU (46%).

El área de estudio presenta especies de alta relevancia para la conservación, siendo los más importante registrados el de PEAB, como son *P. Onca* que es una especie difícil de observar y los murciélagos *V. spectrum* y *C. auritus* los cuales son especies sumamente raras de capturar y de las cuales se tienen poco registro para el Estado. De igual manera es importante considerar la presencia de tres especies que se consideran prioritarias para la conservación en México como son *P. onca*, *A. villosa* y *A. geoffroyi*.

El gremio alimenticio predominante fueron los frugívoros, aportando servicios como la dispersión de semillas dentro de las ANP, y de esta forma ayudando al mantenimiento en los ecosistemas, siendo los murciélagos los más representativos para este gremio. En el presente estudio se reporta más de una tercera parte de las especies protegidas del grupo de los mamíferos para el Estado. Lo que indica que dichas áreas son sumamente importantes para la conservación en general de la biodiversidad de una región.

REFERENCIAS

- Aranda-Sánchez, J. M. (2012). Manual para el rastreo de mamíferos silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 255 p.
- Ávila-Gómez, E. S., Moreno, C. E., García-Morales, R., Zuria, I., Sánchez-Rojas, G., y Briones-Salas, M. (2015). Deforestation thresholds for phyllostomid bat populations in tropical landscapes in the Huasteca region, Mexico. *Tropical Conservation Science*, 8(3): 646-661. <https://doi.org/10.1177/194008291500800305>.
- Bruner, A. G., Gullison, R. E., Rice, R. E., da Fonseca, G. A., Fonseca, G. A. B., da Fonseca, G. A., y Fonseca, G. A. B. (2001). Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. *Science*, 291(5501): 125-8. <https://doi.org/10.1126/science.291.5501.125>.
- Castro-Luna, A. (1999). Composición y abundancia de la comunidad de murciélagos (Mammalia: Chiroptera) del parque estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia*. 15(29): 57-68.
- Castro-Luna, A. A., Sosa, V. J., y Castillo-Campos, G. (2007). Cambios en los ensamblajes de murciélagos en un paisaje modificado por actividades humanas en el trópico húmedo de México. Tesis de Doctorado. Instituto de Ecología. A.C. Xalapa, Veracruz. Pp 119.
- Ceballos, G., y Navarro, D. (1991). Diversity and conservation of Mexican Mammals. Latin American Mammalogy history, biodiversity and conservation.
- Ceballos, G., y Oliva, G. (2005). Los mamíferos silvestres de México. Fondo de Cultura Económica. Recuperado a partir de <https://www.elfondoonline.com/Detalle.aspx?ctit=008215R>.
- CONANP. (2001). Áreas Naturales Protegidas de México con decretos estatales (Vol. 2).
- CONANP. (2017). Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Web page; www.conanp.gob.mx. Consultado el 20/08/2017.

- Driesche, R. Van, Hoddle, M., Center, T., y Ruíz, C. (2007). Control de plagas y malezas por enemigas naturales. Recuperado a partir de [http://200.23.38.33/Vedalia/Volumen_13\(1\)_2006/v13n1p039-p040.pdf](http://200.23.38.33/Vedalia/Volumen_13(1)_2006/v13n1p039-p040.pdf).
- García-Morales, R. (2008). Diversidad alfa, beta y gamma de Murciélagos del Parque Estatal la Sierra, Tabasco, México. Tesis de licenciatura. División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 51 p.
- García Morales, R., Gordillo Chávez, E. J., Valdez Leal, J. D. D., y Pacheco Figueroa, C. J. (2014). Las áreas naturales protegidas y su papel en la conservación de los murciélagos del estado de Tabasco, México. *Therya*, 5(3): 725-736. <https://doi.org/10.12933/therya-14-217>.
- Giannini, N. P., y Kalko, E. K. V. (2004). Trophic structure in a large assemblage of phyllostomid bats in. *Oikos*, 2(105), 209-220. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2004.12690.x>.
- González-Salazar, C., Martínez-Meyer, E., y López-Santiago, G. (2014). A hierarchical classification of trophic guilds for North American birds and mammals. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(3): 931-941. <https://doi.org/10.7550/rmb.38023>.
- Gordillo-Chávez, E. (2007). Los mamíferos terrestres del Parque Estatal La Sierra, Tabasco registrados por cinco métodos de muestreo. Tesis de licenciatura. División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Pp 48.
- Granados-Sánchez, D., Ruíz-Puga, P., y Barrera-Escorcia, H. (2008). Ecología de la herbivoría. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 14(1), 51-64. Recuperado a partir de <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/629/62914109.pdf>.
- Kalko, E. K. V, y Handley Jr., C. O. (2001). Neotropical bats in the canopy: diversity, community structure and implications for conservation. *Plant Ecology*, 153, 319-333. <https://doi.org/10.1023/A:1017590007861>.
- Margules, C. R., y Pressey, R. L. (2000). Systematic conservation planning. *Nature*, 405(6783), 243-253. <https://doi.org/10.1038/35012251>.

- Medellín, R., Arita, H., y Sánchez, Ó. (2008). Identificación de los murciélagos de México: clave de campo. segunda edición. Instituto de Ecología, UNAM-conabio, Pp.89.
- Mendoza-Sáenz, V., y Horváth, A. (2013). Roedores y murciélagos en la zona cafetalera del Volcán Tacaná, Chiapas, México. *Therya* VO - 4, 4(2), 409. <https://doi.org/10.12933/therya-13-116>.
- Pérez-Irineo, G., y Santos-Moreno, A. (2013). Riqueza de especies y gremios tróficos de mamíferos carnívoros en una selva alta del sureste de México. *Therya*, 4(3), 551-564. <https://doi.org/10.12933/therya-13-157>.
- Ramírez-Pulido, J., González-Ruiz, N., Gardner, A. L., y Arroyo-Cabrales, J. (2014). List of Recent Land Mammals of Mexico. *Journal of Business Communication* (Vol. 20). Special Publications of the Museum of Texas Tech University 63:1-69.
- Reid, F. (2009). A field guide to the mammals of Central America and Southeast Mexico. Segunda edición. Oxford University Press. New York, USA. Pp 346.
- Sánchez-Rojas, G., Flores-Hernández, S. D., Castillo-Cerón, J., Mejenes-López, S., Aguilar-López, M., Bravo-Cadena, J., Hernández-Silva, D. (2016). Riqueza, composición y conservación de los mamíferos del estado de Hidalgo, México (Riqueza, c). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Asociación Mexicana de Mastozoología A. C. y Universidad de Guanajuato, Ciudad de México, México.
- SEMARNAT. (2010). Norma Oficial Mexicana. NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección Ambiental-Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestres-Categorías de Riesgo y Especificaciones para su Inclusión, Exclusión o Cambio-Lista de especies en Riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, 78. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>.
- SEMARNAT, y CONANP. (2015). Programa de manejo, Área de protección de flora y fauna Cañón del Usumacinta. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Sikes, R. S., Gannon, W. L., y Committee, T. A. C. and U. S. O. M. of the A. (2007). Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research. *Journal of Mammalogy*, 92(3): 235-253.

Metagenómica de la diversidad bacteriana de las cuevas de villa luz para aplicaciones biotecnológicas

Rodolfo Gómez-Cruz⁶
José Santiago Bautista-López
Roberto Méndez-Pérez
María Teresa Gamboa-Rodríguez
Jesús Roberto Gamboa-Aldeco

RESUMEN

En este trabajo extrajimos ADN ambiental para análisis metagenómico en muestras de cinco sitios seleccionados de las cuevas de Villa Luz, Tacotalpa, Tabasco, México. Estas cuevas están alimentadas por unos 20 manantiales con H₂S entre 300 y 500 mg.L⁻¹ y O₂ < 0.1 mg.L⁻¹. Entre los organismos extraños hallados en este ecosistema subterráneo que oxidan H₂S a H₂SO₄, están las asociaciones bacterianas de biovermiculitas, mocotitas y sacos o bolsas de flema. En estos sitios la microbiota habita a pH 2.5 - 7. Los productos de amplificación de las regiones hipervariables V1 y V3, del gen 16S ARNr bacteriano en muestras de DNA metagenómico pirosecuenciadas, mediante bTEFAP, generaron 9,565 lecturas y se identificaron siete phyla bacterianos, determinando Proteobacteria y Acidobacteria con más y menos frecuencia, respectivamente, y en la muestra UJAT5 detectamos Proteobacteria acidofílica.

⁶ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas. Doctor en Ciencias, Profesor-Investigador.

INTRODUCCIÓN

La selva húmeda es el bioma más rico en especies de los trópicos del mundo (Terborgh, 1992; Malhi y Grace, 2000; Groombridge y Jenkins, 2003) y al mismo tiempo la más amenazada de desaparecer (Guevara et al., 2000). El trópico húmedo mexicano (THM) o zona tropical cálido-húmeda, se ubica en la región sureste de México, ocupa apenas el 11 % del territorio nacional (Toledo y Ordóñez, 1993), pero es donde se encuentra la mayor diversidad biológica del país (Koleff et al., 2012). Uno de los ecosistemas epicontinentales característicos del THM son las cuevas, que se interconectan entre sí con manantiales y el volcán Chichonal por una red acuífera que se extiende por cientos de kilómetros ubicados al norte de la sierra de Chiapas en el sureste de México (Rosales-Lagarde et al., 2006; Rosales-Lagarde, 2013). Así, las cuevas de Villa Luz (VL) se caracterizan por la presencia de azufre elemental incrustado en las paredes y 300 a 500 mg.L⁻¹ de H₂S y O₂ menor a 0.1 mg.L⁻¹ en la atmósfera y manantiales kársticos, así como de azufre coloidal (Hose y Pisarowicz, 1999; Tobler et al., 2006; Plath y Tobler, 2010). Considerando el enorme potencial biotecnológico encubierto en las bacterias, hasta ahora muy poco caracterizadas, el análisis de sus contenidos genómicos a través de la metagenómica abre la posibilidad de identificar nuevos taxa o novedosos genes que, además de conferirles facultades para desarrollar su papel dentro del ecosistema, tienen potencial para ser aplicados en la industria agroalimentaria, farmacéutica, organoquímica (Herrera-Estrella y Castellanos, 2007) o para pruebas de supervivencia expuestos a la radiación UV extrema a nivel espacial (DiRuggiero et al., 2002). La metagenómica como aplicación de las nuevas tecnologías de secuenciación (NGS) ofrecen un camino alternativo para el estudio de la estructura de las comunidades, la diversidad de especies, la capacidad metabólica y la diversidad funcional (Simon y Daniel, 2011). Las tecnologías NGS -incluyendo 454 y secuenciadores Illumina- usan

oligonucleótidos para amplificar el gen *rrs* que codifica la subunidad 16S rRNA y son dirigidos a regiones hipervariables. Aunque no existe una sola región hipervariable capaz de distinguirse entre todas las bacterias, las regiones hipervariables V2 (nucleótidos 137-242), V3 (nucleótidos 433-497) y V6 (nucleótidos 986-1043) contienen la heterogeneidad máxima y proporcionan la máxima potencia discriminante para analizar grupos bacterianos. Además, el hecho de que las regiones hipervariables se encuentren limitadas por regiones conservadas, de secuencia conocida, permite el desarrollo de oligonucleótidos específicos que hacen posible amplificar dicha zona mediante reacción en cadena de la polimerasa y ser secuenciadas por NGS para identificar y cuantificar la diversidad microbiana (Shah *et al.*, 2011). Estas nuevas aplicaciones cuentan con un amplio campo de estudio, que va desde el aire hasta por debajo de los 8000 m en zonas abismales oceánicas, de la placa dentobacteriana hasta salas de hospitales y del subsuelo de los polos hasta las fosas sulfurosas.

OBJETIVO

Identificar la diversidad de bacterias usando el gen 16S rRNA del ADN ambiental de la microbiota nativa de las cuevas de Villa Luz, Tacotalpa, Tabasco, México y el análisis de secuencias de metadatos, generados por secuenciación masiva bTEFAP, para futuras aplicaciones biotecnológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las cuevas de VL, también conocidas como La cueva de Las Sardinas o cuevas del Azufre, están conformadas por ricas aguas de azufre de origen hipogénico. Se localizan en el municipio de Tacotalpa, Tabasco, México (3.5 km al sur de Tapijulapa), en las coordenadas 17° 28' 0" N, 92° 47' 0" O y se encuentran dentro del Parque Kolem Jaa a una altitud de 100 msnm. Estas cuevas están situadas a 2.41 km aproximadamente del río Almandro en los bordes altos de Chiapas, con 1 900 m de largo (Hose *et al.*, 2000; Palacios-

Vargas et al., 2011; Fig. 1).

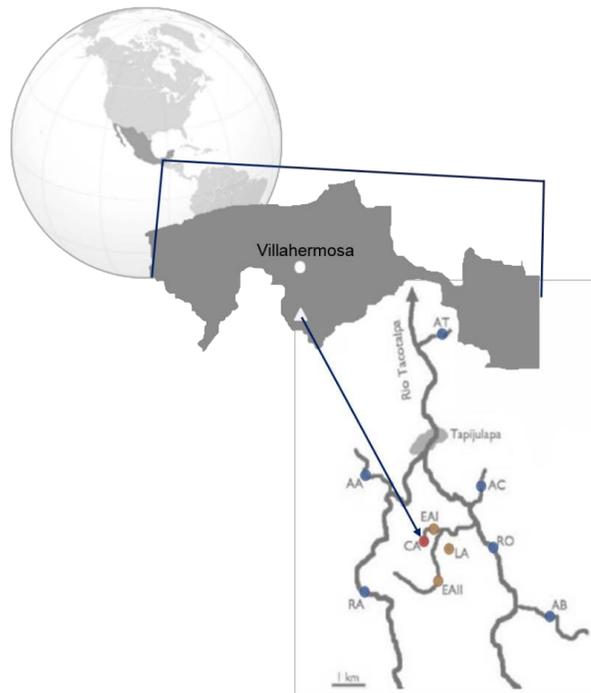


Figura 1 Localización geográfica de las Cuevas de Villa Luz, Tacotalpa, Tabasco, México. Los puntos color azul indican los cuerpos superficiales no sulfídicos, los puntos color café indican los sitios superficiales sulfídicos y el punto rojo muestra la Cueva del Azufre (CA) sulfídica (adaptado de Plath y Tobler, 2010).

Muestras y extracción de ADN ambiental para análisis metagenómico. Se colectaron muestras de snottites, biovermiculitas y sedimentos, tomando en cuenta sus características fisicoquímicas de T, pH y olor a H₂S, de 10 sitios pre-seleccionados (Fig. 2) y fueron transportados al Laboratorio en una nevera térmica, donde se pre-congelaron con nitrógeno líquido y se conservaron a -40 °C hasta la extracción posterior de ADN metagenómico. Se obtuvo ADN de 0.5 g de muestra ambiental, mediante el FastDNA[®] SPIN

Kit for Soil (MP Biomedicals), siguiendo las recomendaciones del fabricante. Las muestras de snottites fueron congeladas con nitrógeno líquido y posteriormente trituradas para lograr una mejor disgregación de las células embebidas dentro de las capas de mucosidad y facilitar la lisis mecánica y química. Las muestras de sedimento fueron centrifugadas a 10,000xg durante 20 min para extraer por completo el exceso de agua y precipitar las células bacterianas, en el caso de las muestras de biovermiculitas el ADN se extrajo directamente. El ADN obtenido se usó para amplificar 1,400 pb del gen 16S rDNA de bacterias empleando los oligonucleótidos NVZF 5'-GCG GAT CCG CGG CCG CTG CAG AGT TTG ATC CTG GCT CAG-3' y NVZR 5'-GGC TCG AGC GGC CGC CCG GGT TAC CTT GTT ACG ACT T-3' (Relman, 1993). La mezcla para la reacción de PCR estuvo constituida por ADN molde 50 ng, Buffer1X de PCR (Qiagen), MgCl₂ 0.025 M (Qiagen), cada dNTP 200 mM (Qiagen), cada oligonucleótido 0.6 mM y HotStarTaq DNA Polymerase 0.5 U (Qiagen). Las condiciones de la reacción de PCR fueron: una etapa inicial de desnaturalización de 94 °C durante 10 min seguido por 30 ciclos 94 °C por 1 min, y 58 °C por 1 min, 72 °C por 1 min y una extensión final a 72 °C durante 10 min, con un T-gradient Thermo cycler (Biometra). Los productos de PCR fueron evaluados por electroforesis sumergidos en gel de agarosa al 1.2 %, teñidos con bromuro de etidio y cuantificados mediante un Espectrofotómetro NanoDrop 2000 (ThermoScientific) y finalmente diluidos a 100 ng.mL⁻¹ de concentración, para el análisis mediante Tag-encoded FLX amplicon pyrosequencing bacterial.

Pirosecuenciación y análisis de secuencias. La preparación de bibliotecas de clones y pirosecuenciación fueron solicitados como servicios a Research and Testing Laboratory de Lubbock, Texas, USA, por PCR empleando los cebadores universales específicos 28F (5'- GAGTTTGATCNTGGCTCAG-3') y 519R (5'-GTNTTACNGCGGCKGCTG-3') de las regiones variables V1 y V3 del gen 16S rRNA.

RESULTADOS

Distribución de la diversidad bacteriana. La pirosecuenciación del DNA ambiental de las cinco muestras seleccionadas generaron 9,565 lecturas, después del control de calidad, con un tamaño promedio de 434.2 bp (SD Promedio: 55,3). El análisis taxonómicos de las secuencias reveló la presencia estimada mediante el estimador Chao1 de familias entre 27 (muestra UJAT-2) y 81 (UJAT1b); la diversidad calculada según el índice de Shannon presenta a todos valores mayores que 1, con un máximo de 3,02 en la muestra UJAT-2, excepto por la muestra UJAT-3 (0.73). Estos valores tan altos indican una distribución balanceada de la diversidad. Solo en la muestra UJAT-3 nos encontramos con una disminución de diversidad que corresponde con un incremento de la dominancia de miembros de Enterococcaceae y Anaerolineaceae (Fig. 2). Las muestras se agrupan según la localización de muestreo como esta descrito en la Figura 3 donde se observa como las muestras UJAT-1a y UJAT-1b son muy parecidas entre si junto con la UJAT-2, mientras que las UJAT-4 y UJAT-5 forman otro clúster apartado de la UJAT-3.

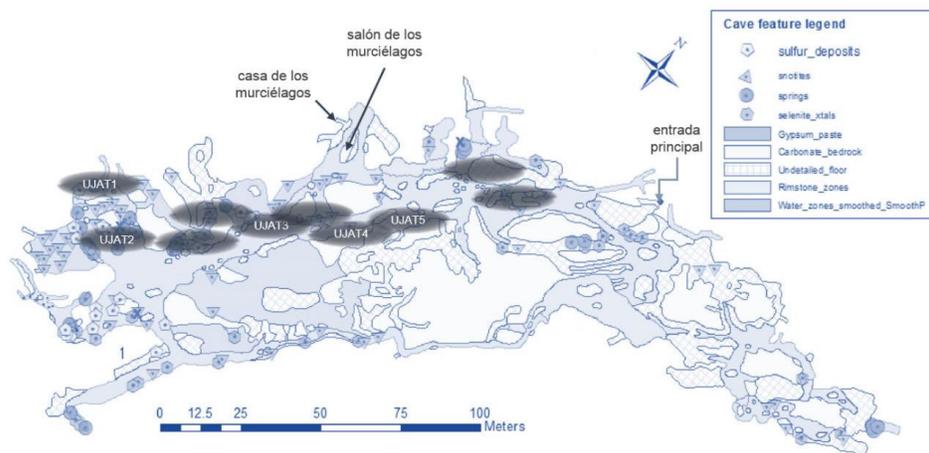


Figura 2 Sitios pre-seleccionados y seleccionados de las Cuevas de Villa Luz, marcados en forma elíptica y etiquetados como UJAT1 - UJAT5, respectivamente, para la colecta de muestras ambientales.

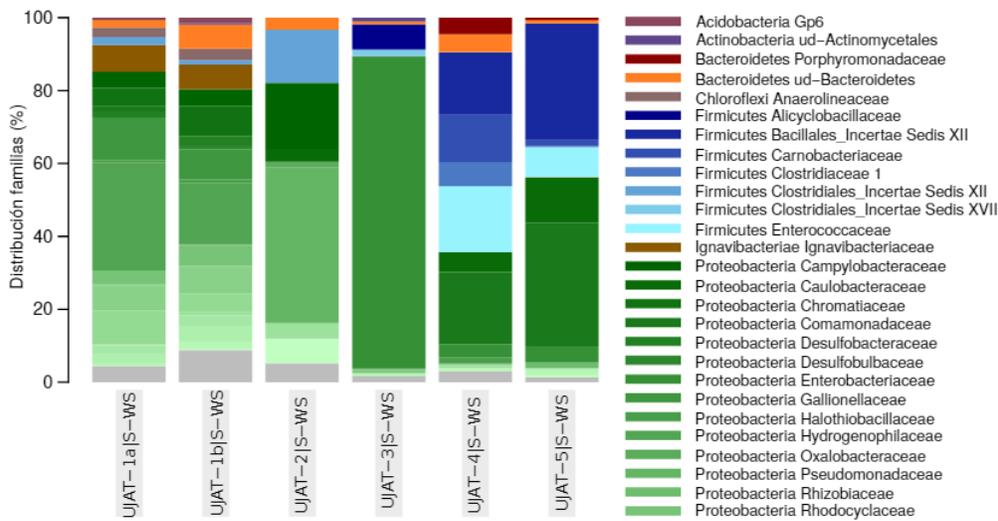


Figura 3 Frecuencia relativa obtenida de la microbiota de las muestras de los sitios seleccionados de las cuevas de Villa Luz.

DISCUSIÓN

En este estudio, se determinó la diversidad procariótica de las aguas termales sulfhídricas ubicadas en las cuevas de VL, Tacotalpa, Tabasco, México. Encontramos diferentes comunidades bacterianas, que fueron dominadas por Proteobacteria, Firmicutes, Chloroflexi, Chlorobi, Bacteroidetes y Actinobacteria y aunque con muy poca dominancia, también encontramos el phylum Acidobacteria. El dominio observado de Proteobacteria está en concordancia con otros estudios realizados en cuevas (Ikner et al., 2007; Tomova et al., 2013), y esto sugiere que su presencia es una consecuencia del aumento de la entrada de materia orgánica a estas cuevas (Tomova et al., 2013), aunque la interacción de estos phyla podrían tener capacidad metabólica frente a posible contaminación por infiltración de materia orgánica humana y/o animal (Johnston et al., 2012), pero el guano de murciélago podría ser la principal fuente de materia orgánica que esté contribuyendo a que Proteobacteria sea el phylum dominante de estas cuevas. La dominancia y el pH 2.5 encontrados en la microbiota de la

muestra de UJAT-5, sugieren que esto podría corresponder a *P. acidofílica*, que en el caso de las oxidantes de hierro han sido el centro de una gran cantidad de investigaciones debido a su importancia en Biotecnología ambiental (Hedrich et al., 2011). Los phyla Firmicutes, Chloroflexi y Bacteroidetes bacterias Gram positivas: están presentes en todos los ambientes acuáticos, son verdes no sulfurosas y son poco abundantes en aguas oligotróficas, respectivamente (Gordon y Giovannonni, 1996; Jaspers et al., 2001). Wemheuer et al. (2013) se enfocaron en la evaluación y explotación de la diversidad procariótica de dos comunidades microbianas derivadas de diferentes manantiales termales de Kamchatkian, con enfoque metagenómico, los más abundantes encontrados en las muestras pertenecían a Proteobacteria, Thermotogae y Thaumarchaeota, pero no identificaron Acidobacteria. Este phylum se distribuye ampliamente y es abundante en suelos, no está restringido a ambientes ácidos y son organismos oligotróficos correlacionados negativamente con la materia orgánica del suelo (Fierer et al., 2007), pero sus funciones ecológicas y metabólicas no se conocen con exactitud, debido a que no hay cultivos puros o secuencia de genomas completos (Quaiser et al., 2003; Eichorst et al., 2007; Kielak et al., 2010; Catão et al., 2014). El phylum Acidobacteria está identificado por una variada colección de secuencias del gen 16S rRNA (>1.500 en el Proyecto Base de Datos del Ribosoma; Cole et al., 2005) obtenida de ambientes diversos, incluyendo suelos y sedimentos (Barns, 1999; Dunbar et al., 1999), cortezas del suelo de dunas de arena (Smith *et al.*, 2004), aguas residuales (LaPara et al., 2000; Crocetti et al., 2002), sistemas de distribución de agua (Martiny et al., 2005), turberas (Dedysh et al., 2006), drenaje ácido de minas (Kishimoto et al., 1991), aguas termales (Hobel et al., 2005), respiraderos hidrotermales submarinos de poca profundidad (Smibert and Krieg, 1994), superficies de las pinturas rupestres del Paleolítico y catacumbas (Schabereiter-Gurtner et al., 2002a,b; Schabereiter-Gurtner et al., 2004; Zimmermann et al., 2005, 2006) e interacciones de especies de este phylum con plantas (Nunes da Rocha et al.,

2013). La hibridación *in situ* con sondas específicas para Acidobacteria también ha confirmado la presencia de este phylum intacto en muchos entornos y ha revelado múltiples morfotipos celulares, incluyendo cocos, varillas cortas, y filamentos delgados (Ludwig et al., 1997). Numerosas secuencias del gen 16S rRNA Acidobacterianas también han sido identificadas en los diferentes sistemas de cuevas activos y antiguos de todo el mundo (Meisinger et al., 2007). Sin embargo, el conocimiento de la diversidad Acidobacteriana es todavía bastante incompleto (Kielak et al., 2009) y todavía aún más en cuevas (Meisinger et al., 2007). Finalmente, nuestro estudio reveló que todos phyla que se han identificado son característicos de cuevas y, en el caso de Acidobacteria, Proteobacteria y Actinobacteria, son comunidades bacterianas predominantes de superficies de terreno volcánico (Gomez-Alvarez et al., 2007), como es el caso de estas cuevas, que se encuentran muy próximas al volcán Chichonal.

CONCLUSIONES

Las 9,565 lecturas de las secuencias de las regiones hipervariables V1 y V3 del gen 16S ARNr Bacteriano de este estudio correspondieron a siete phyla: Proteobacteria, Firmicutes, Chloroflexi, Chlorobi, Bacteroidetes, Actinobacteria y Acidobacteria. La dominancia del phylum Proteobacteria podría deberse al aumento de la presencia de materia orgánica, no solamente del guano de murciélagos presente, sino también de la provocada por el hombre y los animales, directamente o por infiltraciones. Para la muestra de UJAT-5 generamos 6,691 lecturas, que, por las características fisicoquímicas y el Índice de Shannon, podrían confirmar la presencia de Proteobacteria acidofílica en las cuevas de VL. Todos los phyla identificados son característicos de cuevas, pero Acidobacteria, Proteobacteria y Actinobacteria son comunidades bacterianas predominantes de superficies de terreno volcánico.

REFERENCIAS

- Barns, S.M., Takala, S.L., Kuske, C.R. (1999). Wide distribution and diversity of members of the bacterial kingdom Acidobacterium in the environment. *Appl. Environ. Microbiol.*, 65, 1731-1737.
- Catão, E.C.P., Lopes, F.A.C., Araújo, J.F., de Castro, A.P., Barreto, C.C., Bustamante, M.M.C., Quirino, B.F., Krüger, R.H. (2014). Soil Acidobacterial 16S rRNA Gene Sequences Reveal Subgroup Level Differences between Savanna-Like Cerrado and Atlantic Forest Brazilian Biomes. *International Journal of Microbiology*, Article ID 156341, 12 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/156341>
- Cole, J.R., Chai, B., Farris, R.J., Wang, Q., Kulam, S.A., McGarrell, D.M., Garrity, G.M., Tiedje, J.M. (2005). The Ribosomal Database Project (RDP-II): sequences and tools for high- throughput rRNA analysis. *Nucleic Acids Res.* 33:D294-296.
- Crocetti, G.R., Banfield, J.F., Keller, J., Bond, P.L., Blackall, L.L. (2002). Glycogen-accumulating organisms in laboratory-scale and full-scale wastewater treatment processes. *Microbiol.*, 148:3353-3364.
- Dedysh, S.N., Pankratov, T.A., Belova, S.E., Kulichevskaya, I.S., Liesack, W. (2006). Phylogenetic analysis and in situ identification of bacteria community composition in an acidic sphagnum peat bog. *Appl. Environ. Microbiol.*, 72:2110-2117.
- DiRuggiero, J., Nandakumar, R., Eisen, J.A., Schwartz, M., Thomas, R., Davila, J., Ofman, L., Robb, F.T. (2002). Genomic and Physiological Studies on Extremophiles: Model Systems for Exobiology. Workshop «Astrobiology in Russia», 130-138 pp.
- Dunbar, J., Takala, S., Barns, S.M., Davis, J.A., Kuske, C.R. (1999). Levels of bacterial community diversity in four arid soils compared by cultivation and 16S rRNA gene cloning. *Appl. Environ. Microbiol.*, 65:1662-1669.
- Eichorst, S.A., Breznak, J.A., Schmidt, T.M. (2007). Isolation and Characterization of Soil Bacteria That Define *Terriglobus* gen. nov., in the Phylum Acidobacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*, 73:2708-2717.
- Fierer, N., Morse, J.L., Berthrong, S.T., Bernhardt, E.S., Jackson, R.B. (2007). "Environmental controls on the landscape-scale biogeography of stream

bacterial communities," *Ecology*, 88:2162-2173.

Gomez-Alvarez, V., King, G.M., Nusslein, K. (2007). Comparative bacterial diversity in recent Hawaiian volcanic deposits of different ages. *FEMS Microbiol Ecol.*, 60:60-73.

Gordon, D.A., Giovannoni, S.J. (1996). Detection of stratified microbial populations related to *Chlorobium* and *Fibrobacter* species in the Atlantic and Pacific Oceans. *Appl. Environ. Microbiol.* 62:1171-1177.

Groombridge, B., Jenkins, M.D. (2003). *World atlas of biodiversity*. University of California Press, Berkeley, California.

Guevara, S., Laborde, J., Sánchez, G. (2000). La Reserva de la Biosfera los Tuxtlas, México. Programa de Cooperación Sur-Sur sobre desarrollo socioeconómico ambientalmente adecuado en los trópicos húmedos. UNESCO. 29:6-8.

Herrera-Estrella, A., Castellanos, F. (2007). Análisis metagenómico de la microbiota edáfica de la reserva de la biósfera de Calakmul. *Ide@s CONCYTEG* 29:802-823.

Hobel, C.F.V., Marteinsson, V.T., Hreggvidsson, G.O., Kristjansson, J.K. (2005). Investigation of the microbial ecology of intertidal hot springs by using diversity analysis of 16S rRNA and chitinase genes. *Appl. Environ. Microbiol.*, 71:2771-2776.

Hose, L.D., Pisarowicz, J.A. (1999). Cueva de Villa Luz, Tabasco, México: Reconnaissance Study of an Active sulfur spring Cave and Ecosystem. *Journal of Cave and Karst Studies*, 61:13-21.

Hose, L.D., Palmer, A.N., Palmer, M.V., Northup, D.E., Boston, P.J., Duchene HR (2000). Microbiology and geochemistry in a hydrogen-sulphide-rich karst environment. *Chem Geol* 169:399-423.

Ikner, L.A., Toomey, R.S., Nolan, G., Neilson, J.W., Pryor, B.M., Maier, R.M. (2007). - Culturable microbial diversity and the impact of tourism in Kartchner Caverns, Arizona. *Microbial Ecology*. 53: 30-42. <http://dx.doi.org/10.1007/s00248-006-9135-8>

Jaspers, E., Nauhaus, K., Cypionka, H., Overmann, J. (2001). Multitude and temporal variability of ecological niches as indicated by the diversity of

cultivated bacterioplankton. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 36:153-164.

Johnston, M.D., Muench, B.A., Banks, E.D., and Barton, H.A. (2012). Human urine in Lechuguilla cave: The Microbiological impact and potential for bioremediation. *Journal of Cave and Karst Studies*. 74:278-291.

Kielak, A., Pijl, A.S., van Veen, J.A., Kowalchuk, G.A. (2009). Phylogenetic diversity of Acidobacteria in a former agricultural soil. *The ISME Journal*, 3:378-382.

Kielak, A., van Veen, J.A., Kowalchuk, G.A. (2010). Comparative Analysis of Acidobacterial Genomic Fragments from Terrestrial and Aquatic Metagenomic Libraries, with Emphasis on Acidobacteria Subdivision 6. *Appl. Environm. Microbiol.* 76:6769-6777.

Kishimoto, N., Kosako, Y., Tano, T. (1991). *Acidobacterium capsulatum* gen. nov., sp. nov.: an acidophilic chemoorganotrophic bacterium containing menaquinone from acidic mineral environment. *Curr. Microbiol.* 22:1-7

Koleff, P., Urquiza-Haas, T., Contreras, B. (2012). Prioridades de conservación de los bosques tropicales de México: reflexiones sobre su estado de conservación y manejo. *Ecosistemas*, 21:6-20.

LaPara, T.M., Nakatsu, C.H., Pantea, L., Alleman, J.E. (2000). Phylogenetic analysis of bacterial communities in mesophilic and thermophilic bioreactors treating pharmaceutical wastewater. *Appl. Environ. Microbiol.*, 66:3951-3959.

Ludwig, W., Bauer, S.H., Bauer, M., Held, I., Kirchhof, G., Schulze, R., Huber, I., Spring, S., Hartmann, A., Schleifer, K-H. (1997). Detection and in situ identification of representatives of a widely distributed new bacterial phylum. *FEMS Microbiol. Lett.*, 153:181-190.

Malhi, Y., Grace, J. (2000). Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Trends in Ecology and Evolution*, 15:332-337.

Martiny, A.C., Albrechtsen, H.J., Arvin, E., Molin, S. (2005). Identification of bacteria in biofilm and bulk water samples from a nonchlorinated model drinking water distribution system: detection of a large nitrite-oxidizing population associated with *Nitrospira* spp. *Appl. Environ. Microbiol.*, 71:8611-8617.

- Meisinger, D.B., Zimmermann, J., Ludwig, W., Schleifer, K-H., Wanner, G., Schmid M., Bennett, P.C., Engel, A.S., Lee, N.M. (2007). In situ detection of novel Acidobacteria in microbial mats from a chemolithoautotrophically based cave ecosystem (Lower Kane Cave, WY, USA). *Environm. Microbiol.*, 9:1523-1534.
- Palacios-Vargas, J.G., Castaño-Meneses, G., Estrada, D.A. (2011). Diversity and dynamics of microarthropods from different biotopes of Las Sardinias cave (Mexico). *Subterranean Biology*, 9:113-126.
- Nunes da Rocha, U., Plugge, C.M., George, I., van Elsas, J.D., van Overbeek, L.S. (2013). The Rhizosphere Selects for Particular Groups of Acidobacteria and Verrucomicrobia. *PLoS ONE*, 8(12): e82443.
- Plath, M., Tobler, M. (2010). Subterranean fishes of Mexico (*Poecilia mexicana*, Poeciliidae). In: E. Trajano, ME Bichuette y BG Kapoor, The biology of subterranean fishes: 283-332. (Science Publishers, Enfield).
- Quaiser, A., Ochsenreiter, T., Lanz, C., Schuster, S.C., Treusch, A.H., Eck, J., Schleper, C. (2003) Acidobacteria form a coherent but highly diverse group within the bacterial domain: evidence from environmental genomics. *Molecular Microbiology*, 50: 563-575.
- Rosales, L., Boston, P., Campbell, A., Stafford, K. (2006). Possible Structural Connection between Chichón Volcano and the Sulfur- Rich Springs of Villa Luz Cave (a.k.a. Cueva de las Sardinias), Southern Mexico. *AMCS Bulletin 19 / SMES, Bulletin 7:77- 184*.
- Rosales-Lagarde, L. (2013). Sulfidic karst spring and speleogenesis in the sierra de Chiapas. *AMCS, bulletin 24. pp: 15 - 79*.
- Schabereiter-Gurtner, C., Saiz-Jimenez, C., Pinar, G., Lubitz, W., Rolleke, S. (2002a). Altamira cave Paleolithic paintings harbor partly unknown bacterial communities. *FEMS Microbiol. Lett.*, 211:7-11.
- Schabereiter-Gurtner, C., Saiz-Jimenez, C., Pinar, G., Lubitz, W., Rolleke, S. (2002b). Phylogenetic 16S rRNA analysis reveals the presence of complex and partly unknown bacterial communities in Tito Bustillo cave, Spain, and on its Palaeolithic paintings. *Environ. Microbiol.*, 4:392-400.
- Schabereiter-Gurtner, C., Saiz-Jimenez, C., Pinar, G., Lubitz, W., Rolleke, S.

- (2004). Phylogenetic diversity of bacteria associated with Paleolithic paintings and surrounding rock walls in two Spanish caves (Llonin and La Garma). *FEMS Microbiol. Ecol.*, 47:235-247.
- Shah, N., Tang, H., Doak, T.G., Ye, Y. (2011). Comparing Bacterial Communities Inferred from 16S rRNA Gene Sequencing and Shotgun Metagenomics. *Pac Symp Biocomput.* 165-176 pp.
- Simon, C., Daniel, R. (2011). Metagenomic Analyses: Past and Future Trends. *Appl. Environ. Microbiol.*, 77:1153-1161.
- Smibert, R.M., Krieg, N. R. (1994). Phenotypic characterization, p. 607-654. In P. Gerhardt, R. G. E. Murray, W. A. Wood, and N. R. Krieg (ed.), *Methods for general and molecular bacteriology*. American Society for Microbiology, Washington, DC.
- Smith, S.M., Abed, R.M.M., Garcia-Pichel, F. (2004). Biological soil crusts of sand dunes in Cape Cod National Seashore, Massachusetts, USA. *Microb. Ecol.*, 48:200-208.
- Terborgh, J. (1992). *Diversity and the Tropical Rainforest*. New York: Scientific American Library. 242 pp.
- Tobler, M., Schlupp, I., Heubel, K.U., Riesch, R., García de León, F.J., Giere, O., Plath, M. (2006). Life on the edge: hydrogen sulfide and the fish communities of a Mexican cave and surrounding waters. *Extremophiles*, 10:577-585.
- Toledo, V.M., Ordóñez, M. (1993). The biodiversity scenario of Mexico: a review of terrestrial habitats. En: Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). *Biological diversity of Mexico. Origins and distribution*, Oxford University Press. Nueva York.
- Tomova, I., Lazarkevich, I., Tomova, A., Kambourova, M., Vasileva-Tonkova, E. (2013). Diversity and biosynthetic potential of culturable aerobic heterotrophic bacteria isolated from Magura Cave, Bulgaria. *International Journal of Speleology*, 42:65-76.
- Zimmermann, J., Gonzalez, J.M., Saiz-Jimenez, C., Ludwig, W. (2005). Detection and phylogenetic relationships of highly diverse uncultured acidobacterial communities in Altamira Cave using 23S rRNA sequence analyses. *Geomicrobiol. J.*, 22:379-388

Zimmermann, J., Gonzalez, J.M., Saiz-Jimenez, C. (2006). Epilithic biofilms in Saint Callixtus Catacombs (Rome) harbour a broad spectrum of Acidobacteria. *Antonie Leeuwenhoek*, 89:203-208.

Morfología y clave de identificación de los granos de polen de especies del género *Justicia* (Acanthaceae) en tabasco, México

Hermenegildo Martínez Seferino⁷
Carlos Manuel Burelo Ramos
Nelly del Carmen Jiménez Pérez
Guillermo Ángeles Álvarez
María de los Ángeles Guadarrama Olivera

RESUMEN

Se describe e ilustra la morfología polínica de 16 especies del género *Justicia* L. (Acanthaceae Juss.) presentes en el estado de Tabasco, México, usando microscopía de luz y microscopio electrónico de barrido. Los taxa incluidos son: *J. bartlettii*, *J. borrerae*, *J. breviflora*, *J. campechiana*, *J. carthagenensis*, *J. caudata*, *J. chol*, *J. comata*, *J. fimbriata*, *J. inaequalis*, *J. kanal*, *J. lindeniana*, *J. nevingii*, *J. pectoralis*, *J. spicigera*, y *J. teletheca*. Se encontraron variaciones en el tamaño, forma y tipo polínico, lo que permitió elaborar una clave dicotómica para su identificación. Se determinaron seis categorías de tamaño de los granos de polen utilizando la longitud polar, resultando la categoría de mediano la mejor representada en el conjunto. El polen en *Justicia* se presenta como una mónada, isopolar, bisimétrica; morfológicamente puede caracterizarse en cinco tipos polínicos: bizonocolporado, bizonoporado, trizonoporado, trizonocolporado y tetrazonocolporado, y cinco formas, según la relación entre las longitudes de los ejes polar y ecuatorial: prolado, subprolado a prolado, prolado-esferoidal a prolado, oblado-esferoidal a prolado, prolado a perprolado, donde la mitad de las especies estudiadas presentaron la forma subprolado a prolado. Las especies pueden separarse por sus caracteres palinológicos y confirma la delimitación de especies obtenida por análisis morfológicos.

⁷ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas

INTRODUCCIÓN

La familia Acanthaceae Juss. comprende alrededor de 202 géneros y 3,520 especies que se distribuyen ampliamente en los trópicos del Nuevo y Viejo Mundo, aunque algunas se extienden a regiones templadas (Judd et al., 2008) teniendo como principales centros de diversidad las regiones indomalesiana, africana y mexicano-centroamericana (Daniel y Acosta - Castellanos, 2003). En México, se han registrado 46 géneros y unas 360 especies, lo que equivaldría al 10.22% de las especies reconocidas a nivel mundial, de éstos, ocho géneros y casi el 50% de las especies son endémicos. La riqueza de los géneros y especies se incrementa hacia el sur, encontrándose una mayor representatividad en áreas de bosque tropical caducifolio y subcaducifolio, siendo los estados más diversos Chiapas, Oaxaca, Veracruz y Tabasco (Daniel, 1998a).

El género *Justicia* L. es el más grande y complejo dentro de Acanthaceae con unas 600 especies, predominantemente tropicales. Se reconocen por ser hierbas perennes, arbustos o subarbustos con los tallos frecuentemente algo cuadrangulares, con hojas opuestas, enteras, sésiles o pecioladas. Presentan una diversidad de inflorescencias que van desde dicasios a espigas o panículas, axilares o terminales. Las flores son zigomórficas, con brácteas de formas y tamaño variadas y la corola compuesta de pétalos verdosos, blancos, amarillos, anaranjados, rosados, rojos o púrpura; el androceo presenta 2 estambres fértiles, el ovario bilocular y el fruto una cápsula claviforme, que contiene de 2 a 4 semillas. Un importante número de especies son ampliamente cultivadas por sus flores y follaje como plantas de ornato (Daniel y Acosta-Castellanos, 2003; Graham 1988).

A partir de la amplia diversidad morfológica que exhibe *Justicia*, en los tratamientos taxonómicos se ha optado por segregar una gran número de pequeños géneros o bien el reconocimiento de *Justicia* en un sentido amplio

e inclusivo. En las clasificaciones resultantes se han empleado números caracteres pero especialmente la morfología de anteras y de granos de polen, siendo este último, particularmente útil en la delimitación de Tribus (Graham, 1988).

OBJETIVO

En el presente trabajo, se realiza la caracterización polínica de 16 especies del género *Justicia* que se distribuyen en el estado de Tabasco, México, con el objetivo de auxiliar la taxonomía del grupo y facilitar la identificación de cada una de las especies estudiadas, para ello se realizarán las descripciones correspondientes a cada una de las especies, una clave dicotómica empleando características del polen y la integración de preparaciones fijas del polen de este grupo a la Colección Palinológica del Herbario UJAT.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material analizado fue obtenido de botones florales de las siguientes exsicatas: *J. bartlettii* (Leonard) D.N. Gibson: N. del C. Jiménez P. 460, 464 (UJAT); *J. borrerae* (Hemsl.) T.F. Daniel: G. Ortiz G. 8, S.G. Ramírez y N.H. García 1 (UJAT); *J. breviflora* (Nees) Rusby: M. A. Guadarrama O. et al. 6312, N. del C. Jiménez P. 39 (UJAT); *J. campechiana* Standl. ex. Lundell: M.A. Magaña y S. Zamudio 540, M. Sousa 10855 (CSAT); *Justicia carthagenensis* Jacq.: R. Duran y Chan Duran 1441, J. Leal y V. Rico-Gray 113 (XAL); *Justicia caudata* A. Gray: C. Cowan 1588, C. Cowan 21172 (CSAT); *Justicia chol* T.F. Daniel: C. Cowan 3477, C. Cowan, S. Zamudio et al. 3537 (CSAT); *Justicia comata* (L.) Lam.: C. Gutiérrez B. 763, F. Ventura A. 15588 (XAL); *Justicia fimbriata* (Nees) V.A.W. Graham.: M.A. Guadarrama O. G. Ortiz G. 5006, G. Ortiz G. s/n (UJAT); *Justicia inaequalis* Benth.: A.M. Hanan A. 486, D.F., S.G. Ramírez H. 6 (UJAT); *Justicia kanal* T.F. Daniel: M. Vázquez 240, M. Vázquez et al. 75 (XAL); *Justicia lindeni* (Nees) J.F. Macbr.: O. Castillo A., J. Zavala 577, S. Zamudio 304 (UJAT); *Justicia nevlingii* Wssh. y T.F. Daniel: J.

Dorantes 2799 (XAL); *Justicia pectoralis* Jacq.: M. Nee y K. Taylor 29800, F. Ventura A. 16001 (XAL); *Justicia spicigera* Schltld.: O. Castillo A. et al. 562, S.G. Ramírez H. 5 (UJAT); *Justicia teletheca* T.F. Daniel.: G. Ortiz G. 719 (UJAT), S. Maya 2431 (XAL).

Las muestras de polen fueron preparadas de acuerdo a la técnica de acetólisis de Erdtman (1960) con las modificaciones hechas por López-Curto et al. (1998) para su observación al microscopio óptico de luz (ML) y se tomaron fotografías a 10 y 40x con una cámara digital Axion Vision Rel. 4.8 acoplada a un microscopio Zeiss modelo Scope A1. Del mismo modo, las muestras para ser observadas al microscopio electrónico de barrido (MEB), fueron sometidas a desecación por medio de punto crítico, y posteriormente metalizadas con una fina película de oro-paladio. Las muestras fueron observados en un MEB JEOL modelo JMS 5600 LV donde se obtuvieron fotomicrografías a diversas magnificaciones.

Se determinó la polaridad, simetría, tipo polínico, tipo de apertura, número de aberturas y forma del grano de polen. Con las imágenes obtenidas de la ML mediante el software ZEN 2012 versión 1.1.1.0 se realizaron de 25 a 30 medidas por cada especie de la longitud polar (P), longitud ecuatorial (E) y grosor de la exina. De estas últimas se calculó la media aritmética, desviación estándar y la medida máxima y mínima mediante el software STATISTICA, Kernel release 5.5 (StatSoft Inc., 2004).

La terminología empleada para describir las estructuras se basó en: Halbritter et al. (2007), Hesse et al. (2009) y Punt et al. (2007).

RESULTADOS

Con la técnica descrita se prepararon e integraron un total de 75 laminillas fijadas a la colección Palinológica del Herbario UJAT, mismas que fueron base de las descripciones de las 16 especies de *Justicia* estudiadas-

De manera general, el grano de polen del género *Justicia* L. es una mónada, isopolar, bisimétrico, que puede presentarse en cinco tipos polínicos: bizonocolporado, bizonoporado, trizonoporado, trizonocolporado y tetrazonocolporado (Cuadro 1), con 14 a 43 ínsulas arregladas en dos, cuatro y seis hileras, en algunas especies ausentes (*J. breviflora*, *J. pectoralis*, *J. teletheca*) y arregladas alrededor del poro, con el área abertural microrreticulada mientras que el área interabertural es reticulada.

Del mismo modo, se registraron cinco formas polínicas, según la relación entre las longitudes de los ejes polar y ecuatorial (P/E) establecida por Erdtman (1952): prolado, subprolado a prolado, prolado-esferoidal a prolado, oblado-esferoidal a prolado, prolado a perprolado (Cuadro 1).

Se determinaron seis categorías de tamaño de los granos de polen utilizando la longitud polar (LP), de acuerdo a lo propuesto por Anero-Bartolome et al. (2004), que va desde 19.01 μm en *J. campechiana* hasta 102.43 μm en *J. fimbriata*, estas categorías fueron: pequeño, pequeño a mediano, mediano, mediano a grande, grande y grande a muy grande (Cuadro 1, Fig. 1). En cuanto a la longitud ecuatorial, *J. teletheca* resultó la de mayor tamaño, con 55 μm y *J. campechiana* con la longitud menor de 13 μm (Fig. 2). Por otra parte, la especie que presentó mayor grosor de la exina fue *J. fimbriata* con 5.66 μm , mientras que *J. campechiana* presentó el menor grosor con 1.28 μm (Fig. 3).

Cuadro 1. Comparativo de las características del polen de *Justicia spp* en Tabasco.

Especie	Tamaño	Tipo	Forma	Tipo de abertura
<i>J. bartlettii</i>	Mediano	Bizonocolporado	Prolado	Compuestas
<i>J. borraerae</i>	Mediano	Bizonocolporado	Psilado, prolado	Compuestas
<i>J. breviflora</i>	Pequeño a mediano	Bizonocolporado	Subprolado a prolado	Compuestas
<i>J. campechiana</i>	Pequeño	Bizonocolporado	Subprolado a prolado	Compuestas
<i>J.</i>	Mediano a	Bizonocolporado	Subprolado a prolado	Compuestas

<i>carthagenensis</i>	grande			
<i>J. caudata</i>	Grande	Bizonocolporado	Prolado - esferoidal a prolado	Compuestas
<i>J. chol</i>	Mediano	Trizonocolporado	Subprolado a prolado	Compuestas
<i>J. comata</i>	Pequeño	Bizonoporado	Oblado - esferoidal a prolado	Simple
<i>J. fimbriata</i>	Grande a muy grande	Trizonoporado	Prolado a perprolado	Simple
<i>J. inaequalis</i>	Grande	Bizonocolporado	Prolado	Compuestas
<i>J. kanal</i>	Mediano a grande	Bizonocolporado	Subprolado a prolado	Compuestas
<i>J. lindeniana</i>	Mediano	Bizonocolporado	Prolado - esferoidal a prolado	Compuestas
<i>J. nevingii</i>	Mediano	Tetrazonocolporado	Subprolado a prolado	Compuestas
<i>J. pectoralis</i>	Mediano	Bizonocolporado	Prolado	Compuestas
<i>J. spicigera</i>	Grande	Bizonocolporado	Subprolado a prolado	Compuestas
<i>J. teletheca</i>	Grande	Bizonocolporado	Subprolado a prolado	Compuestas

Figura 5 Longitud polar del género Justicia L. del Estado de Tabasco.

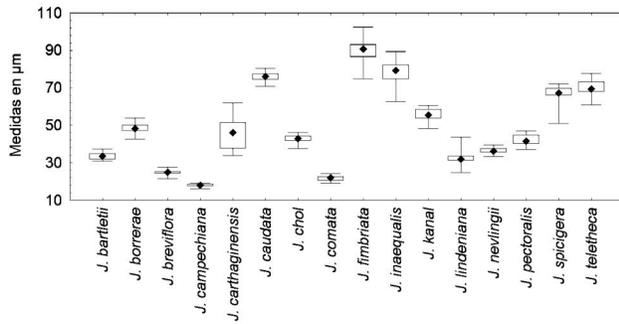


Figura 4 Longitud ecuatorial del género Justicia L. del Estado de Tabasco.

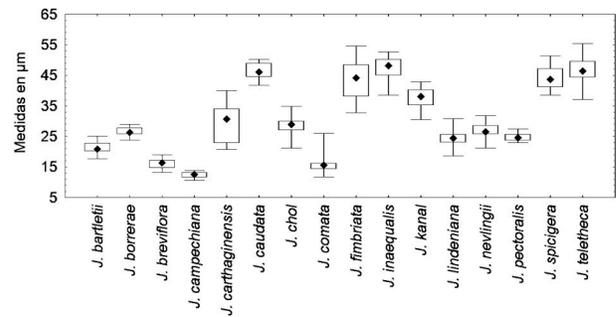


Figura 6 Grosor de la exina del polen de especie de Justicia L. del Estado de Tabasco.

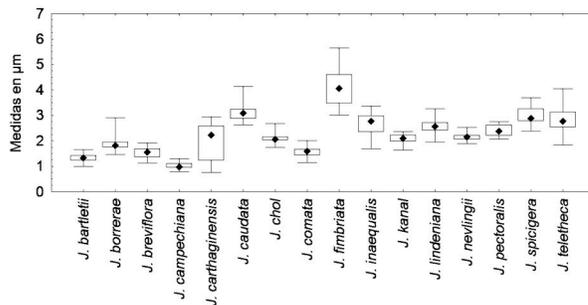


Figura 4. Polen de especies de *Justicia*: A-B *J. bartlettii* A) Aspecto general del polen, donde se aprecian aberturas e ínsulas B) Vista de la superficie interabertural. C-D *J. Borrerae* C) Aspecto general del polen, con las ínsulas y penínsulas D) Vista polar del grano de polen. E-F *J. breviflora*. E) Aspecto general del polen con vista de las aberturas, F) Vista de la superficie interabertural. G-H *J. Campechiana* G) Aspecto general del polen, donde se aprecian las ínsulas y la ectoabertura, H) Detalle de la superficie interabertural y las aberturas.

Figura 9 Polen de especies de *Justicia*: A *J. comata* A) Aspecto general del polen. B-D *J. Inaequalis* B) Aspecto general del polen, C) Vista de la superficie interabertural con detalle de la ornamentación, ínsulas y penínsulas, D) Detalle de la endoabertura e ínsulas. E-F *J. Kanal* E) Aspecto general del polen, F) Detalle de la ornamentación y acercamiento de las ínsulas. G *J. Lindeniana* G), Aspecto general del polen donde se aprecian aberturas e ínsulas. H *J. Pectoralis* H), Aspecto general del polen, con las ectoaberturas y endoaberturas visibles.

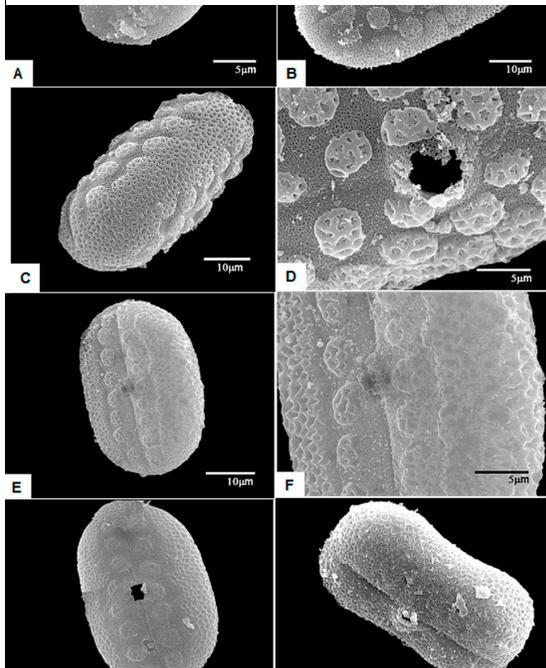
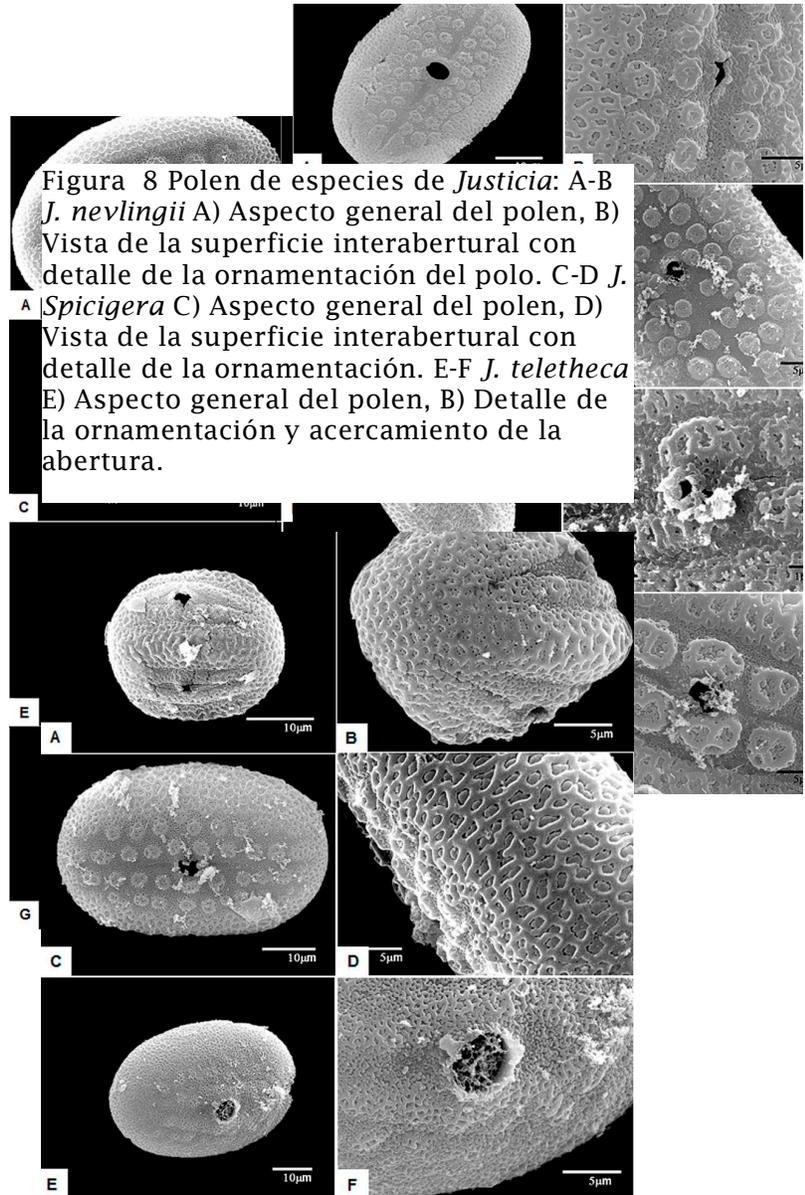


Figura 7 Polen de especies de *Justicia* A-B *J. carthagenensis* A) Vista de las ínsulas y las aberturas, B) Detalle de la superficie y las ínsulas. C-D *J. caudata* C) Aspecto general del polen y D) Detalle de la superficie, ínsulas y aberturas. E-F *J. Chol* E) Aspecto general donde se aprecia la superficie las ínsulas, F) Detalle de la ornamentación y las aberturas. G-H *J. Fimbriata* G) Aspecto general donde se aprecia la superficie y las ínsulas, H) Detalle de la ornamentación y las aberturas



Clave dicotómica de los granos de polen de especies de *Justicia* estudiadas

- 1 Granos de polen sin presencia de ínsulas
- 2 Colpo visible
 - 3 Forma subprolada a prolada *J. pectoralis*
 - 3 Forma prolada *J. breviflora*
- 2 Colpo no visible *J. teletheca*
- 1 Granos de polen con presencia de ínsulas
- 4 Granos con presencia de penínsulas
 - 5A Ornamentación psilada en el área abertural *J. borrrerae*
 - 5A Ornamentación reticulada en el área abertural..... *J. inaequalis*
- 4 Granos sin presencia de penínsulas
 - 6 Granos triangulares o circulares en vista polar
 - 7 Granos circulares en vista polar..... *J. nevlingii*
 - 7 Granos triangulares en vista polar
 - 8 Ínsulas de hasta 5 μ m de diámetro *J. fimbriata*
 - 8 Ínsulas de hasta 2 μ m de diámetro
 - 9 Granos de hasta 15 μ m de longitud polar *J. campechiana*
 - 9 Granos de entre 30 y 50 μ m de longitud polar *J. chol*
- 6 Granos aplanados en vista polar
 - 10 Ínsulas agrupadas en 2 series o hileras
 - 11 Apertura cuadrada *J. lindeniana*
 - 11 Apertura circular

12 Granos de polen de más de 45 μm	<i>J. kanal</i>
12 Granos de polen de entre 30-40 μm	
13 Ínsulas de hasta 4 μm de diámetro;	
7 ínsulas	<i>J. comata</i>
13 Ínsulas de hasta 3 μm de diámetro;	
13 ínsulas	<i>J. bartlettii</i>
10 Ínsulas agrupadas en 4 series o hileras	
14 Poro lalongado	<i>J. carthagenensis</i>
14 Poro lolongado	
15 Ínsulas no ordenas	<i>J. caudata</i>
15 Ínsulas ordenadas	<i>J. spicigera</i>

DISCUSIÓN

Según Daniel (1998b), los caracteres superficiales de polen de *Justicia* constituyen una fuente considerable de caracteres, útiles en la delimitación e identificación de especies. Los resultados observados de las especies analizadas dan mayor relevancia a los caracteres de tamaño, forma y tipo polínico, caracteres que permitieron elaborar la clave dicotómica. Sin embargo, caracteres como la polaridad y simetría no muestra variabilidad entre las especies.

Por otra parte, la morfología de los granos de polen de las especies de *Justicia* estudiadas son similares a los descritos para otros géneros de la familia muy relacionados con *Justicia*, como *Poikilacanthus*, *Dicliptera*, *Peristrophe*, *Henrya*, *Carlowrightia*, *Stenostephanus*, *Odontonema* y *Tetramerium* (McDade y Moody, 1999), particularmente en la forma isopolar, disimétrica y la presencia de ínsulas.

CONCLUSIONES

En este estudio no se observó variación intraespecífica, es decir, los caracteres analizados son constantes y fijados dentro de cada una de las especies. No se descarta la posibilidad de diferencias, dado el número de granos de polen que se analizó por especie, por lo que deben desarrollarse estudios dirigidos a observar la variabilidad intraespecífica a nivel poblacional de cada una de las especies para tener una visión más clara de este comportamiento.

Agradecimientos

Al Instituto de Ecología, A.C. y al Ing. Tiburcio Laez por las facilidades para realizar las fotomicrografías en el MEB. A la DACBiol - UJAT por su apoyo para el uso de los Laboratorios de Docencia. Al Programa PROMEP por sustentar parte del equipo y materiales requeridos para este trabajo mediante el proyecto “Morfología polínica de plantas vasculares trepadoras y epífitas de Tabasco”.

REFERENCIAS

- Daniel, T.F. (1998a). *Acanthaceae de México: diversidad y distribución*. En: T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (Comps.). *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución* (pp. 527 - 544). México, D.F. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Daniel, T.F. (1998b). Pollen morphology of mexican Acanthaceae: diversity and systematic significance. *Proceedings of the California Academy of Sciences* 50, 217-256.
- Daniel, T. F. y S. Acosta - Castellanos. (2003). Acanthaceae. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. 117. 1-173.
- Erdtman, G. (1952). *Pollen morphology and plant taxonomy - Angiosperms (an introduction to palynology)*. 1. Estocolmo, Suecia. Almqvist and Wiksell.
- Erdtman, G. (1960). The acetolysis method. *Svensk Botanisk Tidskrift*. 54, 561- 564.
- Graham, V.A.W. (1988). Delimitation and infra-generic classification of *Justicia* (Acanthaceae). *Kew Bulletin*. 43, 551-624.
- Halbritter, H., M. Weber, R. Zetter, A. Frosch-Radivo, R. Buchner y M. Hesse. (2007). *Paldat - Illustrated handbook on pollen terminology*. Viena, Austria. Society of the Promotion of Palynological Research in Austria.
- Hesse, M., H. Halbritter, R. Zetter, M. Weber, R. Buchner, A. Frosch-Radivo y S. Ulrich. (2009). *Pollen terminology: An illustrated handbook*. Viena, Austria. Springer - Verlag.
- Judd, W. S., C.S. Campbell, E.A. Kellogg, P.F. Stevens y M.J. Donoghue. (2008). *Plant Systematics: A phylogenetic approach*. 3ra ed. Sunderland, Massachusetts. Sinauer Associates, Inc.
- López-Curto, M. L., J. Márquez-Guzmán y G. Murguía-Sánchez. (1998). *Técnicas para el estudio del desarrollo en angiospermas*. México. D.F. Facultad de Ciencias, UNAM.

McDade, L. A., y M.L. Moody. (1999). Phylogenetic relationships among Acanthaceae: evidence from nonconding Trn L-Trn F chloroplast DNA sequences. *American Journal of Botany*. 86, 70-80.

Punt, W., P. Hoen, S. Blackmore, S. Nilsson y A. Le Thomas. (2007). Glossary of pollen and spore terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 147, 1-81.

Statsoft Inc. (2004). *Statistica for windows (Computer Program Manual)*. Tulsa, Oklahoma. StatSoft, Inc.

Variaciones temporales y espaciales de partículas $PM_{2.5}$ en zonas urbanas en el municipio de centro, tabasco

Dennis Alexis Romero Sol⁸
Roxana Morales Lopez
Ma. Teresa Gamboa Rodríguez
Jesus Roberto Gamboa Aldeco
Dr. Rodolfo Gómez Cruz

RESUMEN

El estudio demuestra la relación en la concentración de material particulado en el aire de una Ciudad urbana con un tamaño menor a 2.5 micras ($PM_{2.5}$), las cuales son en su mayoría emitidas como resultado de la transformación de combustibles fósiles utilizados en las fuentes móviles, con la finalidad de saber cuáles son las concentraciones emitidas a la atmosfera. Se realizó un monitoreo en diferentes puntos de la ciudad de Villahermosa donde hay mayor movimiento de vehículos, utilizando un equipo de bajos volúmenes OMNI FT a través del método de gravimetría, en filtros de microfibra de vidrio para calcular la concentración de partículas en los puntos de monitoreo, basados en la *NOM-025-SSA1-2014*, se determinó si las concentraciones se encuentran dentro de los límites máximos permisibles que indica la norma y la relación con los factores meteorológicos que influyen en la distribución de partículas $PM_{2.5}$.

Palabras clave: $PM_{2.5}$, aire, partículas

⁸ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas. Estudiante de la licenciatura en Ingeniería Ambiental.

INTRODUCCIÓN

La materia particulada (PM, por sus siglas en inglés) presente en la atmósfera, está constituida por diferentes tamaños y se origina como partículas en suspensión en el aire producto de fuentes naturales y antropogénicas, presentes en diferentes estados de la materia y por sus propiedades aerodinámicas tienden a impactarse en la superficie muy lentamente cuando éstas alcanzan un diámetro mayor.

La composición química de las partículas es muy diversa y depende, principalmente de la fuente emisora y del mecanismo de formación de las partículas. (Guerra, 2015). Todo obstáculo o elemento del relieve natural puede influir sensiblemente en la dispersión de un contaminante en la atmósfera (OPAZO ALBARRÁN, 2009). Así pues, la velocidad y dirección del flujo de aire pueden ser modificadas alrededor y por encima de un obstáculo; esto puede producir condiciones que afectan o contribuyen a la dispersión de los contaminantes.

Según la Organización Mundial de la Salud, la exposición a las partículas supone graves riesgos a la salud en muchas ciudades tanto en los países desarrollados como en los de economías emergentes. Es posible establecer una relación cuantitativa entre el nivel de contaminación y parámetros como la mortalidad o la morbilidad (OMS, 2006). En los últimos años, se han encontrado evidencias entre la fuerte asociación de partículas PM_{2.5} y los datos de morbilidad y mortalidad, que llevaron a ciertos estados de Norteamérica a establecer una norma de calidad del aire más estricta, para PM_{2.5}, al igual que se realizan monitoreos continuos, a nivel estatal y regional (EPA, US Environmental Protection Agency, 2016). En estos últimos años, se han realizado varios estudios de PM_{2.5} en distintos países y en México en diferentes estados. Como es el caso del realizado en el estado de Monterrey (Blanco-Jiménez S., 2015) en el cual a través de un estudio de la calidad del aire (PROAIRE) se determina cuáles son los gases que se

encuentran dispersos en la atmosfera, a partir de ello se puede conocer cuántas toneladas de partículas se encuentran suspendidas en la atmosfera. Se ha determinado por los estudios referentes a partículas realizados en la ZMCM (zona metropolitana de la Ciudad de México) el analisis de todas la fuentes de contaminación que en su mayoría son antropogénicas (Muñoz Cruz, Carmona Mártir, & Pedroza Serrano, 2001) siendo la principal fuente; las móviles en las que destacan más los automóviles, por lo que a través de estos trabajos, han surgido programas como por ejemplo el programa de “hoy no circula” que maneja la ciudad de México, el cual ayuda a la toma de decisiones, para implementar programas más eficientes que ayuden a disminuir la emisión de partículas a la atmosfera. Además de que estas partículas se relacionan con el aumento de enfermedades respiratorias (Canseco Lajas, Sosa García, & Gómez Vargas, 2014), siendo los vehículos la mayor fuente de emisión, entre los cuales destacan la población afectada joven y adulta mayor (Michael Riediker, 2004), como es el caso de la ciudad de México en donde se toma como punto importante el vigilar la salud de los niños (Roberto E. Rojano), 2013) y también en escuelas cercanas a la áreas de análisis (Román-Pedroza JF, 2013).

OBJETIVO

Determinar las concentraciones de partículas $PM_{2.5}$ en áreas de la ciudad de Villahermosa, con diferente intensidad vehicular para analizar si los valores se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana.

MATERIALES Y MÉTODOS

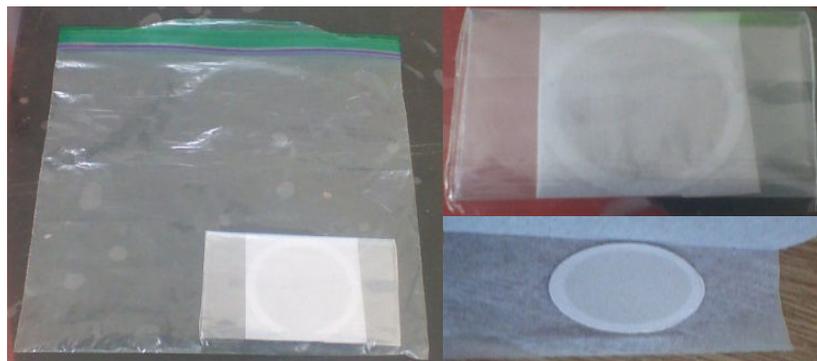
El monitoreo se realizó en 3 sitios de muestreo: la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) en el edificio de COVINSE (17°59'26.72"N Y 92°58'21.93"O), la calle Juan Álvarez en la colonia Centro (17°59'39.87"N Y 92°55'6.53"O) y la calle flor de verónica en la colonia Gaviotas Norte

(17°59'36.96"N Y 92°54'43.86"O) en el municipio de Centro, estado de Tabasco, presentando clima cálido húmedo principalmente, con temperaturas media anual de 27°C, precipitación media estatal es de 2 550 mm anuales,(INEGI, 2005). El procedimiento realizado para analizar las muestras fue la determinación gravimétrica. Este método proporciona una medida de la concentración de la masa de las partículas suspendidas en el aire ambiente. Los muestreos tuvieron una duración de 24 horas. Éstos se realizaron durante un lapso de 2 meses (13-03-2016 al 10-10-2016) dando un total de 30 muestras divididas en 10 muestreos por sitio (imagen 1). Los muestreos se realizaron cada 6 días, por lo que permitió realizar los muestreos considerando todos los días de la semana. Para el análisis y cálculo de concentraciones de partículas, al igual que la metodología se basó según la NOM-025-SSA1-2004 (DOF, 2014)

Para la realización del muestreo se utilizaron filtros de microfibra de vidrio marca Whatman, mediante un análisis gravimétrico, se

Figura 1 Transportación de los filtros.

acondicionaron antes y después del muestreo (Figura 1).



Descripción del equipo de muestreo. El equipo que se utilizó para realizar es muestreo es un equipo de bajos volúmenes marca Mesalabs

modelo OMNI ft, el cual maneja un flujo de 5 LPM y opera en un rango de presión barométrica entre 400 a 800 mm de Hg y este puede operar a través de una conexión eléctrica o en caso de no existir una, cuenta con una batería recargable de 12 V y 5 A, lo cual le da un estimado de operación de 48 hrs, debido a sus características físicas Altura : 21.59 cm, ancho: 17.78 cm, profundidad: 14.60 cm con un peso de 4.08 kg, permite una transportación fácil para poder realizarse en diferentes sitios.

Además de que el equipo con múltiples mini adaptadores para poder realizar muestreos con distintos tamaños de partículas, siendo así que el equipo pueda monitorear: PST, PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1 y PM_4 . Es por ello que por su tamaño y el que puede muestrear distintos tamaños de partículas, sus usos pueden ser varios ya que aparte de utilizarse para el monitoreo de la calidad del aire puede también monitorear el calidad del aire en intramuros, así como también usarse en lugares donde el monitoreo sea en lugares remotos, en proyectos de remediación, así como en pruebas de saturación, el equipo está aprobado por la EPA (Environmental Protection Agency) según la ley de estados unidos en referencia a la vigilancia de la calidad del aire (EPA, 40 CFR Part 58, 2003)

Para un mejor muestreo, el equipo cuenta también con su software llamada BGI Link el cual permite descargar los datos obtenidos del muestreo, los cuales indican, el flujo del equipo, las horas que se muestreo el equipo al igual que la temperatura y presión barométrica en el sitio, también cuenta con la función de hacer el cálculo de la concentración de partículas, al introducir los datos de gravimetría de los filtros así como también calcula la concentración estándar de las mismas partículas.

Figura 2 Equipo OMNI ft



Calibración del equipo. Para la calibración del equipo, debido a que no hay una norma que incluya calibraciones de este tipo de equipos en el país. Se utilizó el calibrador que lleva el mismo equipo, de la marca Mesalabs modelo BGI Delta Cal el cual esta calibrado según los estándares de calidad de la EPA. El cual consiste en una consola portátil unida a cabezal el cual se coloca en la parte superior del equipo.

Para poder realizar la calibración el equipo debe de estar encendido, una vez hecho esto el calibrador pondrá el flujo en cero y a continuación realizará la calibración automáticamente (Figura 4).

Figura 4 Equipo de calibración Delta Cal



Procedimiento después del monitoreo. Al día siguiente, se abre la puerta del panel de control y se observa el tiempo de monitoreo, este debe ser 24 horas \pm 1 hora. En la pantalla se observa la fecha y hora de inicio del

monitoreo, la fecha y hora de la finalización del monitoreo, el flujo promedio del monitoreo, el volumen total de aire que pasó a través del filtro y el volumen estándar calculado. Estos datos se anotan en la boleta de registro del monitoreo. Luego se retira el “inlet” y se guarda en su caja, se abre el compartimiento del filtro y se retira el soporte del filtro con el filtro que ha recogido la muestra, este guarda dentro del papel china luego se coloca en la bolsa transportadora y con cuidado de no voltearlo se lleva hasta el laboratorio

Tratamiento final del filtro. Una vez se haya transportado el filtro ya muestreado al laboratorio, se procederá a abrir el portafiltro y con la ayuda de una pinza se retira el filtro, se coloca en la desecadora por 48 horas. El filtro seco se retira de la desecadora y se pesa en la balanza analítica. Se anota en la boleta de registro del monitoreo el peso del filtro de la muestra. Por medio de un análisis de gravimetría se determina el peso de las partículas PM2.5.

Cálculo final. Se calcula el volumen de aire que pasó a través del filtro, en metros cúbicos, en el total del tiempo de monitoreo. Se divide el contenido de partículas entre el volumen de aire y se reporta el resultado en microgramos de partículas por metro cúbico de aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Los resultados y análisis de los puntos de monitoreo se compararon con NOM-025-SSA1-1993. "Salud Ambiental; Criterio para Evaluar la Calidad del aire ambiente con respecto a las partículas menores de 10 micras (PM10)".

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para Realizar el análisis de los datos obtenidos se ordenaron cronológicamente con sus respectivas concentraciones de cada día de muestreo, así como también sus datos de meteorología como se puede observar en la tabla 1, en donde la mayoría de los días de muestreo; en

donde se observa que las concentraciones están por debajo de lo que estable la norma (aunque uno de los resultados excede los límites máximos permisibles, lo cual tuvo que ver probablemente con un bloqueo en las calles aledañas al sitio de muestreo, lo que provocó un aumento inusual en el tráfico

Tabla 1. Tabla de concentraciones y datos meteorológicos de los muestreos

No. Filtro	Fecha	Concentrac ion ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Temperatur a ($^{\circ}\text{C}$)	Humedad (%)	Velocidad del viento (m/s)	Direccion del viento	Limite maximo permisible nom-025-
GAV-002	19/03/2016	13,89	27,58	69,61	0,80	180	65
GAV-003	25/03/2016	27,77	25,80	78,77	0,48	247,5	65
GAV-004	31/03/2016	13,89	30,93	60,42	0,67	135	65
GAV-006	12/04/2016	27,77	28	80	4,80	135	65
GAV-008	24/04/2016	13,89	28,46	86,27	3,81	67,5	65
COV-001	15/03/2016	13,89	29,07	64,62	0,76	90	65
COV-002	21/03/2016	21,16	21,09	84,80	1,39	225	65
COV-005	08/04/2016	13,89	30,4	70	2,20	22,5	65
COV-007	20/04/2016	13,89	26,91	87,05	3,11	112,5	65
COV-008	26/04/2016	13,89	30,87	80,29	4,18	112,5	65
JAL-001	17/03/2016	27,77	28,58	71,61	0,56	90	65
JAL-002	23/03/2016	13,89	25,23	69,27	8,64	67,5	65
JAL-003	29/03/2016	13,89	28,50	74,52	0,58	112,5	65
JAL-004	04/04/2016	166,64	23,59	77,80	0,67	225	65
JAL-005	10/04/2016	13,89	26,9	78	3,10	0	65
JAL-006	16/04/2016	41,66	29,91	82,88	4,31	67,5	65
JAL-007	22/04/2016	27,77	28,13	87,25	5,59	157,5	65
JAL-008	28/04/2016	27,77	31,28	80,18	4,41	90	65

El análisis estadístico muestra la relación de las variables meteorológicas con las concentraciones de partículas PM10, para determinar cómo puede afectar la distribución del tamaño de partícula. En la tabla Número 2 se puede apreciar que las variables que se relacionan son la temperatura y la dirección del viento, se relacionan con la dispersión de los contaminantes del aire. (Opazo A, 2009).

Tabla 2. Correlación entre la concentración de partículas PM_{2,5} y Variables Meteorológicas

	Concentración (Åµg/m3)	Temperatura (Å°C)	Humedad (%)
Concentración (Åµg/m3)		-0,6181	0,3950
Temperatura (Å°C)	-0,6181		-0,5841
Humedad (%)	0,3950	-0,5841	
Velocidad del viento (m/s)	0,2369	0,0448	0,6631
Dirección del viento	0,5261	-0,6326	-0,2167

	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del viento
Concentración (Åµg/m3)	0,2369	0,5261
Temperatura (Å°C)	0,0448	-0,6326
Humedad (%)	0,6631	-0,2167
Velocidad del viento (m/s)		-0,6608
Dirección del viento	-0,6608	

Figura 5 Gráfico de dispersión en relación de concentración y temperatura.

Gráfico de Concentración (Åµg/m3) vs Temperatura (Å°C)

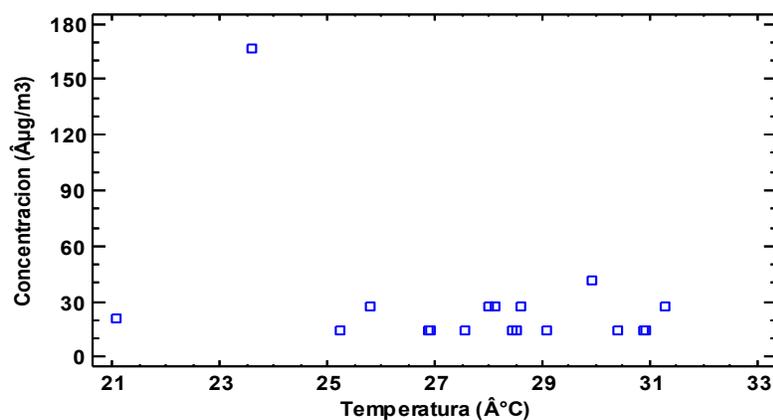
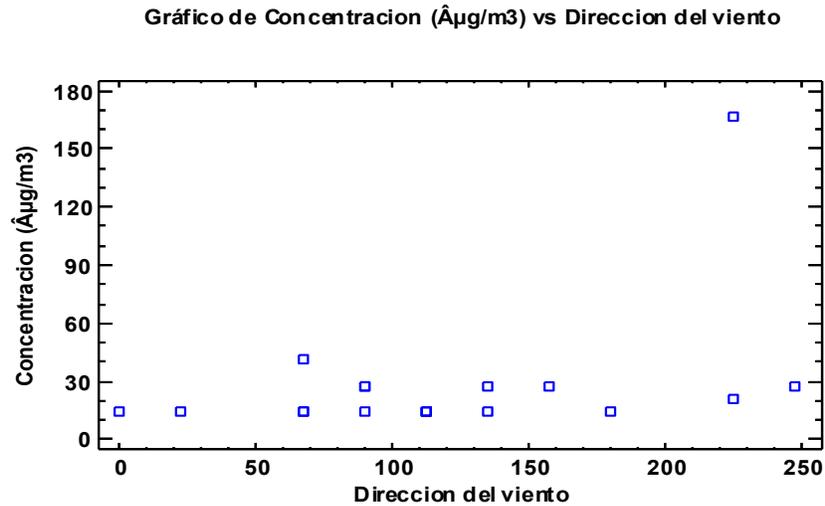


Figura 6 Grafica de dispersión en relación de concentración y dirección del viento.



Al analizar las gráficas, se observa que las concentraciones se encontraron registradas en temperaturas entre los 27°C y 31°C y en cuanto a la dirección del viento la dirección predominante fue ENE y SSE (noreste y sureste) Se elaboraron rosas de viento para cada día de muestreo para poder determinar la predominancia en la dirección del viento, aunado a la geografía del estado que es una planicie lo cual origina un transporte y dispersión más efectivo de las partículas.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de $PM_{2.5}$ que se registraron en los sitios, se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles, debido a la dirección del viento prevaleciente en los meses del monitoreo ya que la geografía del estado mayormente es planicie, los vientos que vienen con rumbo al noreste y sureste llevan las partículas a otros sitios, las concentraciones de las partículas $PM_{2.5}$ se ven impactadas por el aumento de la temperatura ya que las corrientes frías viajan hacia donde hay temperaturas altas, y eso hace que las partículas se distribuyan mas en el área, es por ello que ambos factores se relacionan con las concentraciones, ya que en las áreas de mayor temperatura es donde más se concentran las partículas. El impacto antropogénico por fuentes fijas y móviles; como es el tráfico vehicular ocasionado por el rodamiento de llantas origina fricción y desprendimiento de partículas finas, el humo de los motores diésel, así como la actividad industrial con procesos de combustión en el estado.

REFERENCIAS

- Canseco Lajas, A. L., Sosa García, O., & Gómez Vargas, R. &. (2014). PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS PM2.5 Y SU ASOCIACIÓN CON ENFERMEDADES RESPIRATORIAS EN LA CD. DE CHIHUAHUA, MÉXICO. 14.
- Blanco-Jiménez S., A. F. (2015). *Evaluación de Partículas Suspensas PM2.5 en el Área Metropolitana de Monterrey*. Mexico: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).
- DOF. (20 de Agosto de 2014). NOM-025-SSA1-2014. *Valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación*. Mexico.
- EPA. (2003). 40 CFR Part 58. EU.
- EPA. (21 de 07 de 2016). *US Environmental Protection Agency*. Obtenido de <https://www.epa.gov/air-trends/particulate-matter-pm25-trends>
- Francisca, M. P. (2009). Identificación de metales en partículas finas (PM2.5) durante la época seca-fría en la ciudad de Toluca. 5.
- Guerra, J. E. (2015). *Estimacion y prospectiva de emision de particulas (PM10, PM2.5, Carbono negro) y gases de efecto invernadero, originadas en la combustion domestica*. Mexico, D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- Michael Riediker, W. E. (15 de 04 de 2004). Particulate Matter Exposure in Cars Is Associated with Cardiovascular Effects in Healthy Young Men. *ATS Journals*, 169(8), 7. Obtenido de <http://www.atsjournals.org/doi/abs/10.1164/rccm.200310-1463OC#.V-Nkc5XrvIU>
- Muñoz Cruz, R., Carmona Mártir, M. d., & Pedroza Serrano, J. L. (2001). *ANÁLISIS DE DATOS DE PM2.5 REGISTRADOS CON EQUIPO TEOM EN LAS*

ESTACIONES AZCAPOTZALCO (AZC) Y SANTA URSULA (SUR) DE LA RED AUTOMÁTICA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO (RAMA). Mexico, D.F.: Secretaria del Medio Ambiente, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación.

OPAZO ALBARRÁN, D. (2009). *DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CONTAMINACIÓN POR MATERIAL PARTICULADO Y SU RELACIÓN CON LAS TEMPERATURAS DEL AIRE y LOS VIENTOS EN SANTIAGO PARA EL AÑO 2009.* santiago, Chile: UNIVERSIDAD DE CHILE .

Roberto E. Rojano), L. C. (2013). Niveles de Partículas Suspendidas Totales (PST), PM10 y PM2.5 y su Relación en Lugares Públicos de la Ciudad Riohacha, Caribe Colombiano . *Información Tecnológica*, 10.

Román-Pedroza JF, H.-C. L.-M. (2013). Asociación entre la exposición a PM10 y PM2.5 y síntomas respiratorios en una población escolar del municipio de Ecatepec, Estado de México . 17.

Pre - textos del solsticio como evidencia de un aprendizaje transformador de los 17 objetivos para el desarrollo sostenible⁹

Graciela Beauregard Solís¹⁰,
Ana Rosa Rodríguez Luna¹¹,
Sugey López Martínez¹²
Juana García Hernández

RESUMEN

Uno de los desafíos de la actividad docente es contar con la evidencia del logro del aprendizaje de los estudiantes. Se describe una estrategia para un aprendizaje transformador de los 17 objetivos para el desarrollo sostenible¹³ [17 ODS] para mejorar nuestro mundo, los cuales forman parte de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas. La estrategia se desarrolló: a) realizando actividades de aprendizaje en el aula; b) trabajando en la recuperación y selección de información en un centro de cómputo y, c) considerando la aplicación de conocimientos, tomando en cuenta obras artísticas en una exposición pictórica y fotográfica, “Pre-Textos del Solsticio”, fuera del aula. Se trabajó con un grupo de 22 estudiantes de la licenciatura en ingeniería ambiental que cursaron la asignatura Desarrollo sustentable en el periodo junio-agosto del año 2016, en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. A partir de la observación de las obras de la

⁹ Actividad piloto de la autora principal, para el diseño experimental de la tesis para la obtención del grado de doctor en educación. Producto del Diplomado en Educación para el Desarrollo Sostenible por la Cátedra UNESCO en Educación para el Desarrollo Sostenible con la Carta de la Tierra, Centro Carta de la Tierra de Educación para el Desarrollo Sostenible y Universidad para la Paz.

¹⁰ Colaboradora del proyecto de investigación “Validación de una propuesta didáctica para fortalecer la formación de estudiantes de licenciaturas de ciencias biológicas y ciencias ambientales, tomando en cuenta elementos del patrimonio cultural de Tabasco” (Clave UJAT-2016-PFIE-01). Experta invitada para el diseño de actividades vinculadas al perfil de egreso del ingeniero ambiental.

¹¹ Experta invitada para el diseño de actividades vinculadas al perfil de egreso del ingeniero ambiental.

¹² Experta invitada para el diseño de actividades vinculadas al perfil de egreso del ingeniero ambiental.

¹³ Aunque la Organización de las Naciones Unidas (ONU) utiliza el término “desarrollo sostenible”, el programa de estudios de la universidad donde se realizó la actividad, utiliza “desarrollo sustentable”. Por lo anterior, en este trabajo se utilizará la abreviatura DS.

exposición visitada, la asociación de ideas y conocimientos previos a la visita a la exposición, así como la reflexión, se demostró que la estrategia puede facilitar al docente, conocer el logro del aprendizaje del Tema, en este caso: los 17 ODS.

Palabras clave: Aprendizaje transformador, 17 ODS, obra artística.

INTRODUCCIÓN

El aprendizaje transformador es un cambio de la conciencia, que altera dramáticamente y de forma irreversible la manera de ser de las personas en el mundo; abarca la comprensión de nosotros mismos, nuestras relaciones con otros seres humanos y con el mundo natural, así como nuestro sentido de las posibilidades de la justicia social, la paz y la alegría personal; este proceso implica experimentar un cambio estructural profundo en las premisas básicas de los pensamientos, sentimientos y acciones (O' Sullivan 2002). Se presenta una metodología que facilitó a 22 estudiantes, demostrar los resultados esperados por la docente, sobre su aprendizaje de los 17 ODS (Figura 1).

OBJETIVO

Demostrar la efectividad del método observación y análisis de obras artísticas, como evidencia de un aprendizaje transformador de los 17 ODS, en 22 estudiantes que cursaron la asignatura DS durante un curso de DS.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se diseñó una secuencia didáctica que se muestra en la Tabla 1. La actividad se dividió en tres momentos y lugares: Centro de cómputo (Figura 2); una sala de exposiciones temporales, en este caso: la exposición de fotografía y pintura, "Pret-Textos del solsticio" (Figura 3), y el aula.

Tabla1. Actividades para un aprendizaje transformador de los 17 ODS

Sesiones	Lugar	Recursos	Actividad	Duración
		P ara la docente: Computadora, proyecto r y pantalla	A cargo de la docente: Introducción y explicación del tema de los 17 ODS; demostración del sitio web oficial	0 mi nut os
Sesión 1	Ce ntro de cómputo	P ara los estu dian tes: C omputad ora individu al	Estudiantes: Navegación y exploración , para la recuperación de información del sitio web, para la lectura y análisis del contenido: conceptos y metas de los 17 ODS. Selección de información para el llenado, a mano, de un formato, como evidencia de trabajo para entregar a la docente al final de la sesión. Figura 3.	0 mi nut os
			Estudiantes y docente: Repaso de los 17 ODS.	5 mi nut os
			Estudiantes y docente: Indagación, análisis de la información y reflexión ¿Cuál o cuáles de los 17 ODS pueden ayudarme a cumplir la Agenda 2030, tomando en cuenta un problema en mi casa, colonia, escuela, Estado, país, mundo? ¿Cuáles serán las medidas que voy a tomar para cumplir las metas que solucionen un problema que pueda resolver desde mi posición como vecino, o profesionista? ¿Con cuál o cuáles de los 17 ODS puedo comprometerme?	0 mi nut os
Sesión 2	Aula	A puntos, evidenci a de trabajo de la sesión 1		

				so
				0
				mi
				nut
				os
Discusión e identificación de				
			problemas comunes ¿Cuáles son los problemas que compartimos? ¿Cómo podemos enredarnos (crear comunidades de aprendizaje) para su solución? Ejercicio en clase: Trabajo en equipo para discutir acerca de: ¿Qué posibilidades existen de unir esfuerzos para lograr una calidad de vida sostenible sin olvidar nuestra historia e identidad cultural? ¿Cómo nos vamos a coordinar, a la luz de la ética global y nuestras profesiones?	5 mi nut os
		H		
S esión 3	Sal a de exposicion es	oja de trabajo elaborad a por la docente	Visita a una exposición de fotografías y pinturas; llenado de hoja de trabajo. Figura 5.	90 mi nutos
S esión 4	Aula	Apuntes	Comparación de respuestas de hoja de trabajo y conclusiones (todos)	120 minutos

Nota: Esta tabla muestra solamente una actividad del curso DS, ciclo corto, el cual tuvo una duración de ocho semanas en total. La secuencia didáctica se confeccionó con la ayuda de las expertas invitadas. Adaptado de Paul & Elder (2003).



Figura 1. Los 17 ODS. Los cuales son: 1. Fin de la pobreza; 2. Hambre cero; 3. Salud y bienestar; 4. Educación de calidad; 5. Igualdad de género; 6. Agua limpia y saneamiento; 7. Energía asequible y no contaminante; 8. Trabajo decente y crecimiento económico; 9. Industria, innovación e infraestructura; 10. Reducción de las desigualdades; 11. Ciudades y comunidades sostenibles; 12. Producción y consumo responsables; 13. Acción por el clima; 14. Vida submarina; 15. Vida de ecosistema terrestres; 16. Paz, justicia e instituciones jóvenes y 17. Alianzas para lograr los objetivos. Su contenido completo se encuentra en <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>



Figura 2. Recuperación de información. Lugar: Centro de cómputo. Actividad con acompañamiento docente. Imagen: Graciela Beauregard Solís.



Figura 3. Vista parcial de los participantes, junto a algunos de los más de 30 trabajos expuestos, entre fotografías y pinturas. Lugar: Instituto Juárez. Exposición Pre-Textos del Solsticio (16 de junio al 16 de julio de 2016). Fecha de la visita: 7 de julio. Imagen: Graciela Beaugard Solís.

La Figura 4, corresponde a un formato diseñado por la docente, para ser llenado por los estudiantes, durante la actividad de recuperación de información, en el centro de cómputo.

Figura 4. Formato para su llenado durante la actividad en el centro de cómputo.

Instrucciones: Después del recorrido por el sitio web **Agenda de Desarrollo Sostenible 2030** (<http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/la-agenda-de-desarrollo-sostenible/>), realiza el siguiente ejercicio, llenando a mano los espacios en blanco:

“Para 2030, garantizar que todos los hombres y mujeres, en particular los pobres y los vulnerables, tengan los mismos derechos a los recursos económicos, así como acceso a los servicios básicos, la propiedad y el control de las tierras y otros bienes, la herencia, los recursos naturales, las nuevas tecnologías apropiadas y los servicios financieros, incluida la microfinanciación”. Esta es una de las metas del ODS número: _____ el cual menciona que: _____

“Fortalecer los medios de ejecución y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible”: Éste es el ODS número: _____ y una de sus metas es: _____

“Para 2030, reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo”. Esta es una de las metas del ODS número ____ el cual es: _____

“Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles”. Es el ODS número: _____ y una de sus metas es: _____

“Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible”, es el ODS número ____ y una de sus metas es: _____

“Para 2030, duplicar la productividad agrícola y los ingresos de los productores de alimentos en pequeña escala, en particular las mujeres, los pueblos indígenas, los agricultores familiares, los pastores y los pescadores, entre otras cosas mediante un acceso seguro y equitativo a las tierras, a otros recursos de producción e insumos, conocimientos,

servicios financieros, mercados y oportunidades para la generación de valor añadido y empleos no agrícolas". Ésta es una de las metas del ODS número _____, el cual menciona que:

"Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles", es el ODS número: _____y una de sus metas es: _____

"Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos", es el ODS número _____y una de sus metas es: _____

"Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles" es el ODS número_____, y una de sus metas es: _____

"Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos", es el ODS número _____y dos de sus metas son:_____

"Para 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios de energía modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo". Esta es una de las metas del objetivo número _____el cual menciona que: _____

"Lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y las niñas", es el ODS número _____, y una de sus metas es: _____

"Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos", es el ODS número _____y una de sus metas es: _____

"Proteger los derechos laborales y promover un entorno de trabajo seguro y protegido para todos los trabajadores, incluidos los trabajadores migrantes, en particular las mujeres migrantes y las personas con empleos precarios" es una de las metas del ODS número____el cual menciona que: _____

"Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos" es el ODS número _____ y una de sus metas es: _____

“Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible” es el ODS número _____, y una de sus metas es: _____

“Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”, es el ODS número _____ y una de sus metas es: _____

“Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles”, es el ODS número _____ y dos de sus metas son: _____

Nota: Todas las hojas para la realización de los ejercicios fueron entregadas de manera impresa a cada uno de los estudiantes. El espacio entre cada párrafo es más amplio en el formato original.



Figura 5. Observación y análisis de algunas de las obras de la exposición “Pre-Textos del Solsticio”. Nota: Para responder las preguntas de apertura, seguimiento y conclusión elaboradas por la docente, cada estudiante seleccionó la obra que más le llamó la atención. Imagen: Graciela Beauregard Solís.

RESULTADOS

Se revisaron 22 informes de trabajo de una muestra intencional de 22 estudiantes de la licenciatura ingeniería ambiental que trabajaron individualmente, en una sala de exposiciones. El 100% de los participantes

logró relacionar el mensaje de las obras seleccionadas, con alguno, o más, de los 17 ODS. De hecho, se refirieron a la exposición “Pre-Textos del Solsticio”, como parte de las acciones necesarias para una educación de calidad (Objetivo 4 de los 17 ODS).

Asimismo, descubrieron el valor de esta visita, como actividad culturalmente enriquecedora como consecuencia del acercamiento al arte. Los mensajes descubiertos, en cada obra observada y analizada por ellos, fueron: Salud y bienestar (Objetivo 3), igualdad de género y el empoderamiento de la mujer (Objetivo 5), agua y saneamiento (Objetivo 6), energías limpias (Objetivo 7), crecimiento sostenido (Objetivo 8), reducción de la desigualdad en y entre países (Objetivo 01), acción por el clima (Objetivo 13), vida submarina (Objetivo 14) y vida de ecosistemas terrestres (Objetivo 15). Todos coincidieron en que las obras exhibidas poseían un mensaje único y especial. Las obras que mayor impacto causaron a los estudiantes se muestran en las figuras 6, 7 y 8. Por esta razón, se transcribieron los puntos de vista sobre éstas, de algunos de los participantes, seleccionados al azar.



Figura 6. Sin título. Autores: Antonio Mendoza y Ramón Bolívar. Imagen: Graciela Beauregard Solís.

Estudiante 1. *“Escogí esta obra porque es muy colorida y tiene muchas curvas. El artista probablemente quería mostrar la grandeza de la naturaleza, especialmente el sol y el mar ante los hombres”.*

Estudiante 2. *“Me gusta porque me hace pensar que es importante conocer la naturaleza y así respetarla un poco. Es muy colorida y real; plasma en un pliego, todo lo que la naturaleza*

nos brinda y el ser humano destruye o altera; creo que el artista siempre está inspirado para crear arte”.

Estudiante 3. *“Es muy colorida e interesante; muestra el movimiento continuo de las cosas; me llamó la atención que el sol tiene bigotes y que sus rayos parecen sus cabellos y en la parte inferior está el mar con olas y en él, botes que parecen de papel; la emoción que siento es que al parecer el autor quería expresar lo frágiles que podemos ser ante la naturaleza porque el sol y el mar se ven imponentes y los botes de papel, frágiles”.*

Estudiante 4. *“Me gustó porque nos muestra en forma de dibujos simples una relación entre el sol y el mar, como si fuera una amistad, lo cual me llena de emoción. El trabajo del artista es hacernos ver lo que los demás profesionistas no vemos. Me gustaría invitar a otras personas a ver esta obra”.*

Los cuatro estudiantes tomados en cuenta en esta transcripción, relacionaron esta obra con los ODS 4, 6, 7, 8, 10 y 14.

Cabe mencionarse que dos de los estudiantes propusieron que lo obra de la figura 5 se intitulara “La naturaleza está cansada del maltrato” y “El poder de la naturaleza frente a la fragilidad del hombre”.



Figura 7. Título: Verde. Autores: Poetisa Irma Fernández Calles y fotógrafo Ricardo Cámara Córdova. Imagen: Cortesía del fotógrafo.

Estudiante 5. *“Escogí esta obra porque se relaciona con el agua y la naturaleza; afecta mi vida porque me inspira paz interior y serenidad. Se relaciona con los ODS 3, 5, 6, 7, 13, 14 y 15”*



Figura 8. Título: Sexo que mira sexo, sexo sin amor. Autores: Luis Acopa (escritor) y Hermilo Granados (fotógrafo). Imagen de. Graciela Beauregard Solís.

Estudiante 6. *“Escogí esta obra porque plasma el abuso y falta de valores de los seres humanos hoy en día, al sólo ver la sexualidad como placer y no por amor. Me pregunto por qué el artista escogió una mujer cuando hoy en día no sólo son las mujeres víctimas de la perversión. De esta obra se puede aprender el sentido de los valores que se han perdido al no respetar y valorar al ser humano; parece contradictorio, pero no debería aprenderse a través de un abuso. Me identifico con la obra, como mujer que en la actualidad es vista por los hombres como un objeto sexual para sólo satisfacer sus necesidades y muy pocos son los que se quieren comprometer en serio. Esta obra se relaciona con los ODS 3 y 5”.*

DISCUSIÓN

La metodología aplicada permitió que los estudiantes participantes aprendieron el significado de los 17 ODS. Sin embargo, en esta etapa de su formación académica no se puede saber qué tanto la actividad transformó, o podría transformar, su vida. Por otra parte, los productos de aprendizaje (hoja didáctica confeccionada para la visita a la exposición), así como la evaluación del curso, indicaron que la educación formal los llevó de la mano al deseo de la práctica cotidiana de las acciones que fomentan el DS, desde un cambio en sí mismos. Aunado a lo anterior, los estudiantes apreciaron el

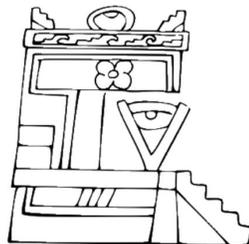
lugar donde se exhibía la muestra artística, como espacio emblemático de la institución donde estudian, ya que el 90% afirmó no saber dónde se ubicaba, a pesar de ser el lugar donde se fundó la Universidad.

CONCLUSIONES

La exposición visitada, permitió a los participantes demostrar de manera tangible, su aprendizaje de los 17 ODS; esto fue posible debido a que fueron capaces de vincular las imágenes y significados de las obras, con los 17 ODS. Por otra parte, la coordinación entre docentes, así como la vinculación con expertos, favorece la formación de comunidades de práctica para fortalecer la calidad de la enseñanza; se recomienda relacionar el conocimiento teórico y áulico, con actividades extramuros, para facilitar el aprendizaje significativo de los temas de un programa de estudios.

REFERENCIAS

- Organización de las Naciones Unidas. 2015. *Objetivos de Desarrollo Sostenible. Los 17 Objetivos para Transformar Nuestro Mundo*. Recuperado de <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- O'Sullivan, E. V. 2002. The Project and Vision of Transformative Learning. En: E. V. O'Sullivan, A. Morrell, & M. A. O'Connor (Eds.). *Expanding the boundaries of transformative learning: Essays on Theory and Praxis* (Pp. 1-12). New York: Palgrave MacMillan.
- Paul, R. & Elder, L. 2003. *La Miniguía para el Pensamiento Crítico. Conceptos y Herramientas*. Fundación para el Pensamiento Crítico. 25 p. Recuperado de <https://www.criticalthinking.org/resources/PDF/SP-ConceptsandTools.pdf> y Vilches, M. 2015. *Ecopedagogía y el Programa de Eco-Escuelas en Puerto Rico: Propuesta para la Integración de la Carta de la Tierra*. Tesis doctoral. Universidad de Granada. 388 p.



Difusión y Divulgación
Científica y Tecnológica

José Manuel Piña Gutiérrez
Rector

Raúl Guzmán León
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

Andrés González García
Director de Difusión y Divulgación Científica y Tecnológica

Calíope Bastar Dorantes
Jefa del Departamento Editorial de Publicaciones No Periódicas

Esta obra se terminó de editar el 12 de septiembre de 2018, en la División Académica de Ciencias Biológicas, ubicada en Km. 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas s/n entronque Bosques de Saloya, Villahermosa, Tabasco. El cuidado estuvo a cargo de los coordinadores y del Departamento Editorial de Publicaciones No Periódicas de la Dirección de Difusión y Divulgación Científica y Tecnológica de la UJAT.