



Bioagrociencias

Revista de difusión del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la
Universidad Autónoma de Yucatán



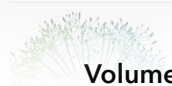
PRIMATES EN PELIGRO DE
EXTINCIÓN



MANGLARES:
HUMEDALES EN PELIGRO



2017
AÑO INTERNACIONAL
DEL TURISMO SOSTENIBLE
PARA EL DESARROLLO



Volumen 10, Número 1

ISSN 2007-431X



Enero-Junio 2017

Comité editorial

Editor general

Virginia Meléndez Ramírez

Coeditor

Alfonso Aguilar Perera

Editores asociados

Carmen Salazar Gómez-Varela

Edwin J. Gutiérrez Ruíz

Juan Magaña Monforte

Luís López Burgos

Luís Ramírez y Avilés

Víctor Cobos Gasca

Silvia Hernández Betancourt

William May Itza

Directorio

Dr. José de Jesús Williams

Rector

M. en C. Marco Torres León

Director

M. en C. Rosa G. Ramírez Porras

Secretaria Académica

M. en C. José Enrique Abreu Sierra

Secretario Administrativo

Dr. Hugo Delfín González

Jefe de la Unidad de Posgrado

Fotografías de la portada

Daniel Antonio Franco Carrillo ©

Armado editorial de la publicación

Virginia Meléndez Ramírez

Bioagrocencias, Año 10 (enero a junio de 2017), revista electrónica, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de Yucatán, a través de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, km. 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil s/n, Mérida, Yucatán, México. Tel. 999 942 32 00

<http://www.ccba.uady.mx/>

Editor Responsable: Virginia Meléndez Ramírez, reserva del derecho al uso exclusivo 04-2017-062617313100-203, ISSN 2007 - 431X.

Responsable de la última actualización: Carlos Canul Sansores, con domicilio en Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, km. 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil s/n, Mérida, Yucatán, México. Tel. 999 942 32 00. Fecha de última actualización: julio 2017.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor o de la institución. Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la dirección de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Correo electrónico:

bioagrocencias@correo.uady.mx

La actualización de la guía para autores y acerca de la revista se encuentra en la página Web:

<http://www.ccba.uady.mx/>

Índice

Características seminales de ejemplares de tres razas ovinas en el altiplano mexicano.1

Jesús Ricardo Aké López, Husim Balderas Femat, Yesmin M. Domínguez Hernandez y Jesús Ricardo Aké Villanueva

Dermatofitosis en perros y gatos: importancia clínica y en salud pública.....6

Manuel Emilio Bolio González, Roger Iván Rodríguez Vivas, José Alberto Rosado Aguilar, Carlos Humberto Sauri Arceo, Iris Trinidad Martínez, Melina Maribel Ojeda Chí y José Leonardo Guillermo Cordero

La muerte celular programada: mecanismos morfológicos y moleculares implicados.....17

Eric Ernesto Burgueño Sosa¹, Luis Roger Esquivel Gómez, Mónica Vanessa Serrano Sánchez, Mónica Andrea Pech Cárdenas y Andrés Antonio Campos Castillo

Manglares: humedales prioritarios en peligro.....26

Daniel Antonio Franco Carrillo y Roberto Barrientos Medina

Primates en peligro de extinción de la Península de Yucatán: estudios actuales y futuras líneas de investigación.....33

Ileana Isabel Lugo Artigas

Dermatofitosis en perros y gatos: importancia clínica y en salud pública

*Manuel Emilio Bolio González, Roger Iván Rodríguez Vivas, José Alberto Rosado Aguilar, Carlos Humberto Sauri Arceo, Iris Trinidad Martínez, Melina Maribel Ojeda Chí y José Leonardo Guillermo Cordero

Departamento de Salud Animal y Medicina Preventiva, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán.

*bgonza@correo.uady.mx

Resumen

La dermatofitosis es una afección cutánea ocasionada por un grupo de hongos denominados dermatofitos, organismos biológicamente dinámicos, resultando de gran interés cualquier información sobre su presencia en animales domésticos. El perro y el gato son los animales que generan mayor número de estudios de identificación, distribución, diagnóstico, tratamiento y control de estos dermatofitos. La alta incidencia de dermatofitos en perros, y la posible transmisión al humano, justifica la educación a los propietarios de mascotas para conocer y prevenir la transmisión. Los principales dermatofitos que afectan a perros y gatos son *Microsporum canis*, *Microsporum gypseum*, *Trichophyton mentagrophytes* y *Malassezia pachydermtis*, ya que producen daños en las estructuras queratínicas de los animales. El objetivo de este trabajo de revisión es presentar información actualizada sobre los principales agentes de la dermatofitosis, signos clínicos, diagnóstico, tratamiento e impacto en la salud pública.

Introducción

Las dermatofitosis son afecciones cutáneas causadas por un grupo de hongos denominados dermatofitos (e.g. *Microsporum canis*, *gypseum*, *Malassezia pachydermtis* y *Trichophyton mentagrophytes*,) que tienen una gran afinidad por crecer en presencia de queratina, presentado enzimas que la degradan, y también invadir e infectar el pelo, piel y las uñas de los animales, incluyendo al ser humano. Los dermatofitos son organismos biológicamente dinámicos cuyo interés es relevante en animales domésticos. El perro y el gato han generado un mayor número de estudios de identificación, distribución, diagnóstico, tratamiento y control de estos dermatofitos. La alta incidencia de dermatofitos en perros y la posible transmisión al humano justifica la educación a los propietarios de mascotas para conocer y prevenir la transmisión. Los principales dermatofitos que afectan a los perros y gatos son *Microsporum canis*, *Microsporum gypseum*, *Trichophyton mentagrophytes* y *Malassezia pachydermtis* y producen daños en las estructuras queratínicas de los animales (Bolio González et al. 2009, Carlotti y Jasmin 2009, Rodríguez-Vivas et al. 2012, Be-tancourt et al. 2013, Costa et al. 2013, Debnath et al. 2016, Ziglioli et al. 2016). El objetivo de este artículo de revisión es presentar información actualizada sobre los principales agentes de la

dermatofitosis, signos clínicos que producen, diagnóstico, tratamiento y su impacto en la salud pública.

Dermatofitosis

Los dermatofitos invaden las estructuras queratínicas de los animales (principalmente, estrato córneo, pelo, uñas y oídos), produciéndole infecciones. Estos hongos son geofílicos (saprófitos de la tierra), zoofílicos (viven en los animales) y antropofílicos (afectan al humano) (Bolio González et al. 2009; Carlotti y Jasmin 2009; Rodriguez-Vivas et al. 2012; Betancourt et al. 2013, Costa et al. 2013, Debnath et al. 2016). Las principales especies de dermatofitos, animales que afectan y hábitat son presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Especies principales de dermatofitos de importancia en medicina veterinaria y en salud pública (Modificado de Carlotti y Jasmin 2009).

GÉNERO	ESPECIE	HOSPEDERO	HABITAT
<i>Microsporium</i>	<i>M. canis</i>	Perro, gato, caballo, roedores, ser humano	Zoofílico
	<i>M. gypseum</i>	Perro, gato, caballo, ser humano	Geofílico
	<i>M. persicolor equinum</i>	Perro, gato roedores Caballo, gato, perro	Zoofílico Zoofílico
<i>Trichophyton</i>	<i>T. mentagrophytes</i>	Gato, perro, roedores, ser humano	Zoofílico
	<i>T. equinum</i>	Caballo, gato, perro, ser humano	Zoofílico
	<i>T. erinacei</i>	Erizo, perro, gato, ser humano	Zoofílico
<i>Malassezia</i>	<i>M. pachydermatis</i>	Perro, gato, ser humano	Zoofílico

Taxonomía

Los dermatofitos se clasifican en géneros anamórficos (*Epidermophyton*, *Microsporium* y *Trichophyton*) y se reconocen más de 40 especies de las cuales alrededor de 12 resultan ser patógenas para el humano. Estos organismos micóticos se alimentan de la queratina. *Microsporium* y *Trichophyton* son patógenos de animales y humanos, *Epidermophyton* solo afecta al humano.

En el pasado, los dermatofitos eran clasificados como miembros del tipo *Deuteromycota* (*Fungi imperfecti*), se sabe actualmente que algunos se reproducen en forma sexuada y se han reclasificado dentro del tipo *Ascomycota* y de la familia *Arthrodermataceae* (Molina de Diego 2011). Hoy día, los estados perfectos, como *Microsporum* y *Trichophyton*, pertenecen al género *Arthroderma* (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de las especies de dermatofitos (Tomada de Molina de Diego 2011).

Género <i>Epidermophyton</i>	Género <i>Microsporum</i>	Género <i>Trichophyton</i>
<i>E. floccosum</i>	<i>M. amazonicum</i>	<i>T. ajelloi</i>
<i>E. stockdaleae</i>	<i>M. audouinii</i>	<i>T. concentricum</i>
	<i>M. boullardii</i>	<i>T. equinum</i>
	<i>M. canis</i> complejo	<i>T. eboreum</i>
	<i>M. cookei</i>	<i>T. erinacei</i>
	<i>M. equinum</i>	<i>T. fischeri</i>
	<i>M. ferrugineum</i>	<i>T. flavescens</i>
	<i>M. fulvum</i>	<i>T. fluviomuniense</i>
	<i>M. gallinae</i>	<i>T. gallinae</i>
	<i>M. gypseum</i>	<i>T. gloriae</i>
	<i>M. nanum</i>	<i>T. gourvilii</i>
	<i>M. praecox</i>	<i>T. interdigitale</i>
	<i>M. persicolor</i>	<i>T. kanei</i>
	<i>M. racemosum</i>	<i>T. krajdenui</i>
		<i>T. mentagrophytes</i> complejo
		<i>T. phaseoliforme</i>
		<i>T. quinckeanum</i>
		<i>T. raubitschekii</i>
		<i>T. rubrum</i>
		<i>T. sarkisorii</i>
		<i>T. schoenleinii</i>
		<i>T. simii</i>
		<i>T. soudanense</i>
		<i>T. terrestre</i>
		<i>T. tonsurans</i> complex
		<i>T. vanbreuseghemii</i>
		<i>T. verrucosum</i>
		<i>T. violaceum</i>
		<i>T. yaounde</i>

Signos clínicos y lesiones cutáneas

Los signos clínicos y lesiones que se producen en el perro son alopecia, eritema, descamación y prurito en diferentes partes del cuerpo (cara, cuello, tórax, abdomen y región dorsal) (Fig. 1). Se pueden observar estructuras sin pelo y eritema asociadas a lesiones circulares eritematosas activas o pasivas, conocidas como “querion”, además de rinitis y estomatitis, descritas en gatos (Ziglioli *et al.* 2016). Las mascotas juegan un papel importante en la dinámica de la enfermedad, ya que son una fuente primaria y directa de infección a otros animales y al humano (Bolio-González *et al.* 2009, Carlotti y Jasmin 2009, Betancourt *et al.* 2013).



Figura 1. Perros con lesiones cutáneas producidas por dermatofitos (alopecia localizada circular, eritema, querion y costras). Fotografías de la Clínica de Perros y Gatos © del CCBA-UADY.

Factores clínicos asociados a Dermatofitosis

La mayor frecuencia de casos de dermatofitos ocurre en perros jóvenes, malnutridos e inmunodeprimidos. Las infecciones no tienen preferencia por el sexo de los animales y puede ocurrir en cualquier raza. Entre otros de los factores que pudieran facilitar la predisposición a la enfermedad son, el uso común de cepillos, peines y cuchillas para depilación y/o rasurado de los animales (Bolio González *et al.* 2009, Carlotti y Jasmin 2009, Rodríguez-Vivas *et al.* 2012, Betancourt *et al.* 2013).

Diagnóstico

El diagnóstico de dermatofitos en perros se basa en la historia clínica, examen especial dermatológico y las pruebas cutáneas complementarias. La forma más rápida de diagnóstico es la revisión de muestras de pelo y escamas directamente al microscopio. Para ello, se montan las muestras en portaobjetos con una gota de KOH (10%) y se observa en objetivos 10X, 40X y 100X. Se puede observar la presencia de esporas micóticas e hifas de hongos (Fig. 2) (Carlotti y Jasmin 2009, Betancourt *et al.* 2013, Debnath *et al.* 2016).

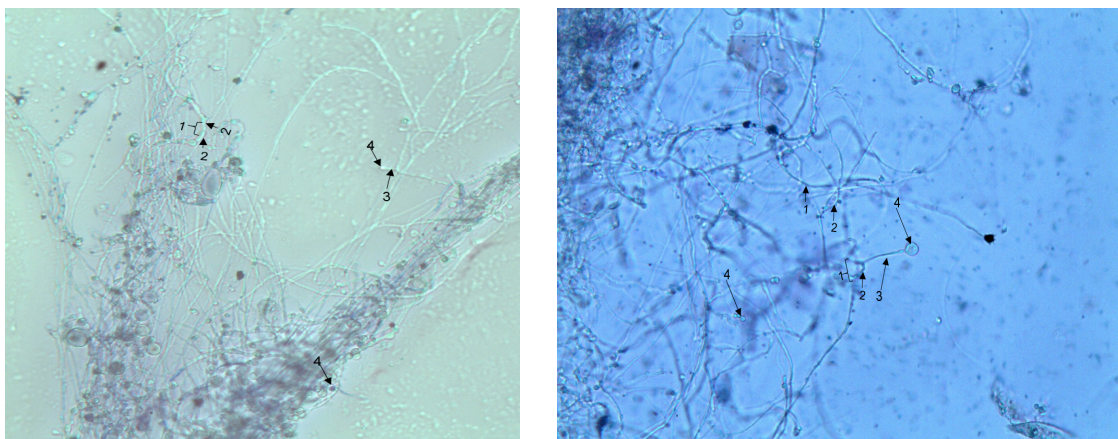


Figura 2. Dermatofitos en la piel de perro (Flechas: 1. Hifa, 2. Septos, 3. Conidióforo y 4. Conidio). Fotografías del Laboratorio de Parasitología © del CCBA-UADY.

Otra forma de diagnóstico es el cultivo de hongos por la prueba de dermatofitos (MPD) u otros inhibidores micóticos que contengan agar con indicadores de pH para demostrar los hábitos saprofíticos de los dermatofitos. Se observa diariamente el cambio de color de las muestras (MPD) durante el crecimiento de los dermatofitos. Suavemente se aplica las muestras en el medio y se incuba al menos durante 15-30 días, el crecimiento de colonias blancas planas que producen color rojo en el medio circundante, sugiere la presencia de dermatofitos. La biopsia de piel es otra forma de diagnóstico para confirmar infección por dermatofitos (Figs. 3A y B) (Carlotti y Jasmin 2009, Debnath *et al.* 2016).

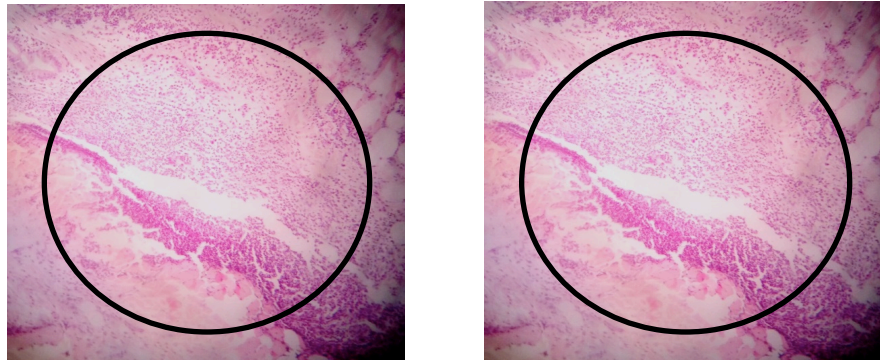


Figura 3A. Fotos de piel donde se observa infiltrado inflamatorio severo por neutrófilos, picocitos y macrófagos, que se extiende al lumen y pared de los folículos pilosos, que se rompe y abarca a la dermis (Circulo). Fotografías de Leonardo Guillermo Cordero ©.

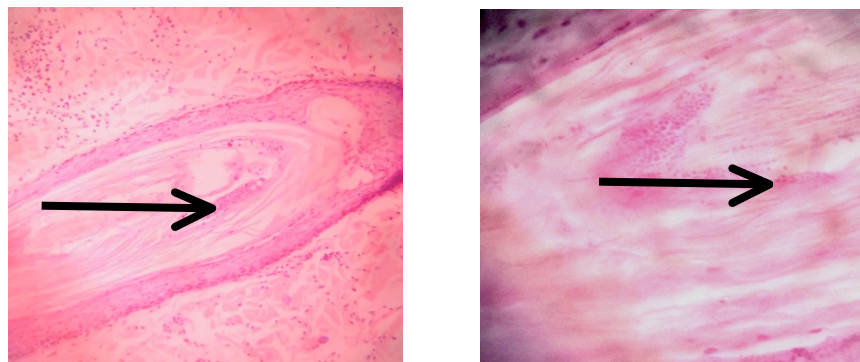


Figura 3B. Acercamiento de la lesión anterior en donde en el lumen de los folículos pilosos, entre las láminas de queratina, se observan estructuras esféricas que corresponden a esporas de *Microsporum spp* (flechas). Fotografías de Leonardo Guillermo Cordero ©.

Por otra parte, se han establecido diferentes métodos moleculares para el diagnóstico e identificación de especies de hongos. Las especies del género *Malassezia* que han sido identificados molecularmente son: *M. furfur*, *M. pachydermatis*, *M. sympodialis*, *M. globosa*, *M. obtusa*, *M. slooffiae* y *M. restricta*. Recientemente, nuevas especies basadas en el AND de los hongos han sido identificados, tales como *M. dermatis*, *M. nana*, *M. japónica*, *M. yamatoensis*, *M. caprae*, *M. equine* y *M. cuniculi* (Zomorodian *et al.* 2008). De acuerdo con Zia *et al.* 2015 y Ko *et al.* (2011), los métodos moleculares más usados para el diagnóstico de hongos y en especial del género *Malassezia* son PCR anidado, PCR de tiempo real, electroforesis en gel de campo pulsa

do, polimorfismos en la longitud de fragmentos amplificados y polimorfismo de longitud de fragmento de restricción.

Epidemiología

A nivel mundial, en diferentes estudios se han obtenido datos de prevalencias para especies de dermatofitos en perros y gato (Tabla 3).

Tabla 3. Prevalencias de especies de dermatofitos en perros y gatos en diferentes países.

Espece de Dermatofito	Prevalencia Perro (%)	Prevalencia Gato (%)	Autor/año/país
<i>Microsporum canis</i>	61.1	61.4	Murmu <i>et al.</i> 2015. India
	46.0	69.7	Seker y Dogan 2011. Turquía
	49.5	61.0	Nweze 2011. Nigeria
<i>Microsporum gypseum</i>	22.2	22.8	Murmu <i>et al.</i> 2015. India
	10.8	6.1	Seker y Dogan 2011. Turquía
	5.8	2.1	Nweze 2011. Nigeria
<i>Trichophyton Mentagrophytes</i>	16.7	15.8	Murmu <i>et al.</i> 2015. India
	32.4	6.1	Seker y Dogan 2011. Turquía
	17.3	36.2	Nweze 2011. Nigeria
<i>Malassezia pachydermatis</i>	66.7	61.3	Shokri y Khosravi 2016. Irán
	13.0	0.0	Heredia-Ojeda 2015. Yucatán, México

Factores predisponentes

La dermatofitosis es de elevada prevalencia en América Latina y afecta tanto a los animales como al humano, debido a que estos comparten cada vez más estrechamente el mismo nicho urbano donde además las condiciones medioambientales (humedad, lluvia), favorecen el crecimiento de especies de dermatofitos. La respuesta a la infección es variable para cada hospedero: Los animales jóvenes e inmunocomprometidos son más susceptibles a la infección por dermatofitos. La mayoría de las infecciones ocurre por transmisión de artrosporas micóticas del suelo por contacto

con la piel del animal. En gran medida se produce infección en el pelo y en las estructuras foliculares de los animales (Carlotti y Jasmin 2009, Betancourt *et al.* 2013).

Tratamiento

Tópico. Incluyen la eliminación del pelo afectado, baños con champús a base de Ketoconazol, Miconazol o Itraconazol, dos o tres veces por semana por 30 días. Se pueden emplear también champús a base de Clorhexidina (concentración superior al 2%). Se sugiere cortar y en ocasiones, rasurar los pelos de los sitios de las lesiones para tratarlas y vigilar mejor su evolución (Carlotti y Jasmin 2009, Ivaskiene *et al.* 2016, Ziglioli *et al.* 2016).

Sistémico. Los productos de elección en la actualidad por vía oral son Itraconazol (5-10mg/kg/24hrs/2-3semanas) y clorhidrato de Terbinafina (30mg/10kg/24 hrs/2semanas (Carlotti y Jasmin 2009, Debnath *et al.* 2016, Hasbach *et al.* 2017).

Prevención

Es conveniente darle seguimiento al paciente (perro o gato) y confirmar la curación total. Hacer limpieza del medio donde vive, deshacerse de los utensilios (cepillos, correas, collares, etc.), así como de las camas. Es importante separar animales sanos de enfermos, eliminar pelo infectado, escamas y detritos aspirando los sitios en donde vive el animal enfermo (Carlotti y Jasmin 2009, Betancourt *et al.* 2013).

En algunos países, existen vacunas disponibles para *Tricophyton verrucosum*, en ganado bovino y *Tricophyton equinum*, en caballos. También se encuentra disponible una vacuna inactivada para *Microsporium canis* (Fel-O-Vax®-Fort Dodge.) para ser aplicada en gatos, se ha observado que se pueden prevenir o disminuir algunos signos clínicos, pero no se elimina al hongo (IICAB 2005).

Consideraciones en salud pública

En distintos estudios realizados a nivel mundial, se ha observado un considerable aumento de la dermatofitosis cutánea en humanos por agentes zoofílicos donde *M. canis* es el principal responsable debido al estrecho contacto entre el humano y los animales de compañía. La dermatofitosis es de gran importancia sanitaria, tanto en Medicina Veterinaria como Humana, por la presentación de zoonosis. En los humanos se han llegado a observar lesiones en brazos y abdomen (Figs. 4 y 5), el patrón clínico encontrado, corresponde a placas pequeñas de al menos dos centímetros de diámetro y con bordes activos (Viguié-Vallanet y Paugam 2009, Rodríguez-Vivas *et al.* 2012, Betancourt *et al.* 2013).

M. canis ha sido aislado con cierta frecuencia en humanos, gatos y perros en donde se han podido observar diversas manifestaciones clínicas (Costa *et al.* 2013, Ziglioli *et al.* 2016).

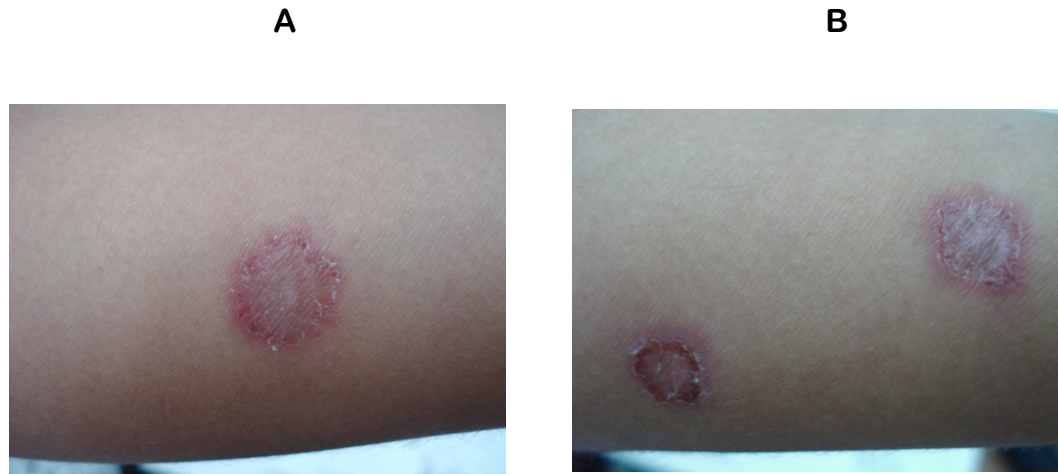


Figura 4. Lesiones cutáneas por dermatofitos en humanos. A) Un querion activo y B) dos queriones, un activo y otro pasivo con costras. Fotografías de los propietarios de perros positivos a dermatofitos ©.



Figura 5. Imágenes de lesiones cutáneas por *Malassezia pachydermtis*. A) Antes del tratamiento y B) después de 10 días de tratamiento tópico con clorhidrato de Terbinafina. Fotografías de Iván Rodríguez Vivas ©.

Referencias

- Betancourt O, Zaror L, Senn C. 2013. Aislamiento de hongos filamentosos desde pelaje de gatos sin lesiones dérmicas en Temuco, Chile. *Revista Científica FCV/LUZ XXIII* (5):380-387
- Bolio González ME, Rodríguez Vivas RI, Sauri Arceo CH, Gutiérrez Blanco E, Rosado León EG, Martínez Vega PP. 2009. Otitis externa por *Malassezia pachydermatis* en el perro. *BAYVET*. 35:33-35
- Costa FVA, Farías MR, Bier D, De Andrade CP, Castro LA, Da Silva SC, Ferreiro L. 2013. Genetic variability in *Microsporum canis* isolated from cats, dogs and humans in Brazil. *Mycoses*. 56:582-588
- Carlotti DN, Jasmin P. 2009. Manual Clínico de dermatología canina. Tomo 1. Virbac (Salud Animal). México. 46 pp.
- Debnath C, Mitra T, Kumar A, Samanta I. Detection of dermatophytes in healthy companion dogs and cats Eastern India. 2016. *Iranian Journal of Veterinary Research*. 17(1): 20-24
- Hasbach AE, Langlois DK, Rosser EJ, Papich MG. 2017. Pharmacokinetics and relative bioavailability of orally administered innovator-formulated Itraconazole capsules and solution in healthy dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2017:1-7
- Heredia Ojeda KC. 2015. Asociación de lesiones cutáneas con *Leishmania mexicana* en perros en la ciudad de Mérida, Yucatán, México. Tesis de Maestría. FMVZ-CCBA.UADY.
- Institute for International Cooperation in Animals Biologics (IICAB). 2005. Dermatofitosis. College Iowa State University, College of Veterinary Medicine. 1-7 pp.
- Ko JH, Lee YW, Choe YB, Ahn KJ. 2011. Epidemiologic study of *Malassezia* yeast in patients with *Malassezia* folliculitis by 26S rDNA PCR-RFLP analysis. *Annals* 23:177-184
- Ivaskiene M, Matusevicius AP, Grigonis A, Zamokas G, Babickaite L. 2016. Efficacy of topical therapy with newly developed Terbinafine and Econazole formulations in the treatment of Dermatophytosis in cats. *Journal of Veterinary Sciences*. 19(3): 535-543
- Molina de Diego A. 2011. Aspectos clínicos, diagnósticos y terapéuticos de las dermatofitosis. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*. 29 (Supl 3): 33-39
- Murmu S, Debnath C, Pramanik AK, Mitra T., Jana S, Dey S, Banerjee S, Batabyal K. 2015. Detection and characterization of zoonotic dermatophytes from dogs and cats in and around Kolkata. *Veterinary World*. 8: 1078-1082
- Nweze EI. 2011. Dermatophytoses in domesticated animals. *Revista Instituto Medicina Tropical Sao Paulo*. 53(2): 95-99
- Rodríguez-Vivas RI, Ojeda-Chi MM, Bolio-González ME, Gutiérrez-Ruiz E, Sauri-Arceo C, Ramírez-Porras R, Reyes-Novelo E. 2012. Enfermedades de la piel en animales de compañía y su potencial transmisión al ser humano. *Ciencia y Agricultura*. 9 (3):54-68
- Seker E, Dogan N. 2011. Isolation of dermatophytes from dogs and cats with suspected dermatophytosis in Western Turkey. *Preventive Veterinary Medicine* 98: 46–51
- Shokri H, Khosravi AR. 2016. An epidemiological study of animals dermatomycoses in Iran. *Journal de Mycologie Médicale*. 26: 170-177
- Viguié-Vallanet C, Paugam A. 2009. Dermatofitos transmitidos por animales. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*. 43 (2): 263-70

- Zia M, Mirhendi H, Toghiani M. 2015. Detection and identification of *Malassezia* species in domestic animals and aquatic birds by PCR-RFLP. *Iran Journal of Veterinary Research*. 16 (1): 36-41
- Ziglioli V, Paciera DI, Leroith T, Wiederhold N, Sutton D. 2016. Invasive *Microsporum canis* causing rhinitis and stomatitis in a cat. *Journal of Small Animal Practice*. 57: 327-331
- Zomorodian, K, Mirhendi H, Tarazooie B, Kordbacheh P, Zeraati H, Nayeri F. 2008. Molecular analysis of *Malassezia* species isolated from hospitalized neonates. *Pediatric Dermatology*. 25:312-316

La muerte celular programada: mecanismos morfológicos y moleculares implicados

*Eric Ernesto Burgueño Sosa¹, Luis Roger Esquivel Gómez², Mónica Vanessa Serrano Sánchez³, Mónica Andrea Pech Cárdenas⁴ y Andrés Antonio Campos Castillo⁵

¹División de Ciencias de la Salud, Universidad de Quintana Roo, Chetumal, Quintana Roo. ²Institute of Evolutionary Biology, The University of Edinburgh, Edinburgh. ³Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán y ⁴Laboratorio de Producción Primaria, Departamento de Recursos del Mar, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Mérida, Yucatán. ⁵CEMIRE y Consultores, Servicios Empresariales, Mérida, Yucatán.

*eric.burgueno.sosa@gmail.com

Resumen

La muerte celular programada o apoptosis es un proceso por el cual las células de los organismos regulan su desarrollo y mantenimiento gracias a la compleja interacción que existe entre diversas moléculas y vías de señalización especializadas. La apoptosis se divide en cuatro etapas: iniciación, decisión, ejecución y degradación celular; y se encuentra regulada por enzimas denominadas caspasas, que son las principales mediadoras de la muerte celular a través de cascadas extrínsecas e intrínsecas de señalización, en donde la mitocondria juega un papel determinante. En este artículo se revisan los principales mecanismos morfológicos y moleculares implicados en la muerte celular programada. Es evidente que la apoptosis juega un papel crucial para el funcionamiento adecuado de los tejidos de los organismos, mediante diversos mecanismos bioquímicos y moleculares que determinan las pautas del desarrollo morfológico y homeostasis. La comprensión de las principales vías de señalización celular implicadas en este proceso tiene gran potencial para el desarrollo de dianas terapéuticas contra padecimientos como el cáncer, las enfermedades neurodegenerativas y una gran variedad de patologías.

Introducción

Desde mediados del siglo XIX, se ha señalado que la muerte celular juega un papel importante durante los procesos fisiológicos de los organismos multicelulares (Lockshin y Zakeri 2001). El término muerte celular programada o apoptosis fue introducido en 1964 por Lockshin y Williams, proponiendo que durante el desarrollo, esta muerte celular no es de naturaleza accidental sino que sigue una secuencia de pasos controlados, tanto a nivel morfológico como a nivel genético (Jordán 2003). En contraste, la necrosis es aquel proceso ocasionado por una lesión aguda e irreversible, derivado de una situación no fisiológica o condición patológica, que deteriora las estructuras celulares y detiene las funciones vitales (Lizarbe 2007).

La homeostasis de los sistemas biológicos multicelulares depende de la interacción entre las células y moléculas que lo forman ya que, durante el desarrollo, muchas células son producidas en exceso, experimentando apoptosis. Un ejemplo muy particular de la implicación de la muerte celular programada en animales es la formación de dígitos indemnedientes por la eliminación masiva de células del tejido mesenquimastoso interdigital (Fig. 1). Otros ejemplos, incluyen el desarrollo del cerebro, en donde la mitad de las neuronas inicialmente formadas, mueren en los estados finales de la ontogenia, el desarrollo de los órganos reproductivos por medio de la eliminación de los conductos de Müller o de Wolff (Meier *et al.* 2000), la regulación del número de células en la médula ósea y la eliminación de las células de la cola en los renacuajos durante la metamorfosis (Alberts 2002).

En las plantas la muerte celular programada es muy importante para el desarrollo y senescencia de las hojas y flores (Alberts 2002), mientras que en los organismos unicelulares fotosintéticos y protozoarios se han descrito mecanismos apoptóticos cuando las células se exponen a condiciones de estrés causado por diversas situaciones, como por ejemplo choques térmicos, salinización, radiación o formación de radicales libres (Kasuba *et al.* 2015).

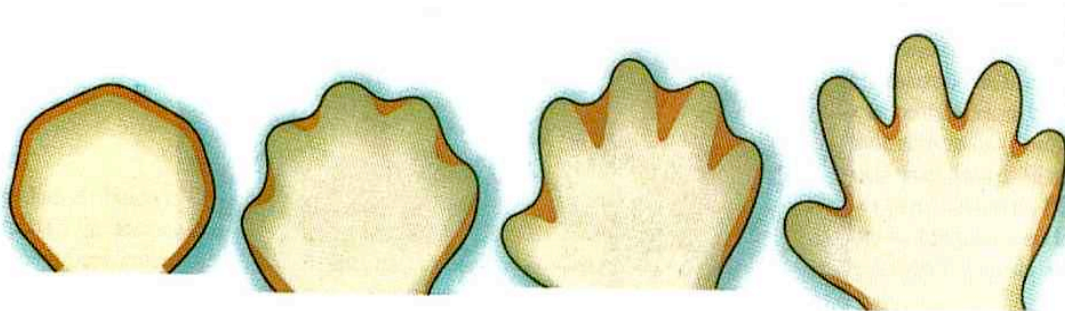


Figura 1. Apoptosis interdigital durante el desarrollo embrionario.
Tomada de <http://www.uaz.edu.mx/histo/MorfoEmbrio/Carlson/Cap09/Cap09.htm>

Debido al rol trascendental que desempeña la apoptosis en los organismos multicelulares, el objetivo de este artículo es revisar los principales mecanismos morfológicos y moleculares apoptóticos, incluyendo la función que desempeñan en el desarrollo de los organismos, los cambios que generan en las células y las principales vías de señalización implicadas, así como el papel fundamental de la mitocondria como organelo central en el proceso.

Tipos de muerte celular

La muerte celular ha sido clasificada según De Toro (2006), en tres tipos: 1) manifestada por condensación nuclear y picnosis, con reducción del volumen citoplasmático, fragmentación celular tardía y fagocitosis (apoptosis), 2) caracterizada por la vacuolización autofágica del citoplasma (autofagia) y 3) muerte citoplasmática, por una desintegración general con pérdida de los or-

ganelos (necrosis). El presente trabajo se centra en los mecanismos morfológicos y moleculares implicados en la muerte celular tipo apoptosis.

Morfología celular durante la apoptosis

Las células exhiben una morfología distintiva durante el proceso apoptótico (Tabla 1), debido a que éstas al recibir las señales de muerte, pierden contacto con las células vecinas y el citoplasma se contrae, provocando una disminución en el tamaño celular. La mayoría de los organelos permanecen intactos, sin embargo, en la mitocondria se dan cambios como la reducción del potencial transmembranal, el desacoplamiento de la cadena de transporte de electrones para la síntesis de ATP y el incremento en la generación de especies reactivas del oxígeno. En etapas posteriores, la cromatina se condensa manteniéndose alrededor de la envoltura nuclear, se fragmenta y finalmente la célula genera un número variable de vesículas de diferentes tamaños rodeados de membrana plasmática íntegra que contienen cromatina y los demás organelos, a dichas vesículas se les conoce como cuerpos apoptóticos (Sánchez y Diosdado, 2003), los cuales serán fagocitados por las células sanas adyacentes del parénquima o por macrófagos, degradándose con rapidez dentro de los lisosomas, gracias a la actividad enzimática (Maghsoudi *et al.* 2012).

Fases del proceso apoptótico

Desde el punto de vista molecular, tomando en cuenta lo descrito por Jordán (2003), se pueden considerar las siguientes fases dentro de la apoptosis:

Iniciación. Está mediada por caspasas iniciadoras. Los procesos apoptóticos son activados por inducción negativa, como la pérdida de una actividad supresora, la falta de factores de crecimiento o la disminución de los contactos celulares; o por inducción positiva, como es el resultado de la unión de un ligando a un receptor.

Decisión. Una vez que la célula recibe una señal de muerte, debe decidir si sobrevive o desencadena los procesos de muerte. En esta fase de decisión se ha situado a la mitocondria como organelo fundamental, debido a que uno de los acontecimientos principales tiene lugar en ella y es la alteración de la permeabilidad de sus membranas por la formación de un complejo multiproteico o poro de permeabilidad transitoria, que conduce a la liberación del contenido intramitocondrial, como el citocromo C, el factor inductor de la apoptosis y proteínas de la familia de las caspasas.

Ejecución. Está mediada por caspasas ejecutoras. En el interior de la célula se produce la proteólisis, que conduce a la degradación de proteínas y de la cromatina, este mecanismo es irreversible y altamente específico, permitiendo la regulación de fenómenos biológicos críticos que conllevan a la muerte celular.

Degradación celular. Después de la muerte celular, ocurren cambios superficiales de la membrana plasmática, los lípidos subyacentes como la fosfatidilserina y los fosfolípidos quedan ex-

puestos, ocasionando que los cuerpos apoptóticos sean reconocidos por los receptores situados sobre los macrófagos.

Tabla 1. Principales diferencias entre apoptosis y necrosis.

Apoptosis	Necrosis
<ul style="list-style-type: none"> • Muerte fisiológica. Proceso muy regulado y controlado. • Se produce durante el desarrollo, mantiene la homeostasis tisular y elimina células dañadas. • Inducida por estímulos intracelulares o extracelulares. • Proceso energéticamente activo y que requiere la biosíntesis de proteínas. • Sigue un orden específico de eventos. Condensación de la cromatina y fragmentación internucleosomal del ADN genómico. Existe mantenimiento estructural de organelos y de la membrana plasmática. El contenido celular queda englobado en los cuerpos apoptóticos. • No se produce liberación del contenido celular. No se produce inflamación. • Degradación mediada por caspasas. Existe fagocitosis de cuerpos apoptóticos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Muerte no fisiológica; muerte accidental traumática. Proceso no regulado. • No se produce durante el desarrollo. • Inducida por un daño celular o tisular. • Proceso energéticamente pasivo. <p data-bbox="922 978 1438 1073">La célula se hincha, se lisan organelos subcelulares y se desintegra de forma desordenada.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La ruptura de la membrana conduce a la liberación del contenido celular, asociada con inflamación. • Lisis celular, y daño a las células vecinas.

Las caspasas, proteínas iniciadoras y ejecutoras de la apoptosis

Las caspasas pertenecen a un grupo de enzimas conocidas como cisteína proteasas y existen en las células como zimógenos inactivos que son de central importancia en la red de señalización de la apoptosis. Las caspasas muestran entre sí una similitud en la secuencia de aminoácidos, en su estructura y en su especificidad, de igual forma, sus sustratos deben contener una molécula de ácido aspártico y requieren del reconocimiento de al menos cuatro aminoácidos en el sitio de ruptura. Dentro de las funciones de las caspasas destacan la inactivación de proteínas que normalmente protegen a la célula de la muerte, conocidas como Proteínas Inhibidoras de Apoptosis o IAPs (NAIP, cIAP1, cIAP2, XIAP, ILP2, survivina, livina y BRUCE), que se encuentran presentes en citoplasma y de igual manera su expresión puede mantener inhibidas a las caspasas (Muñoz y Cuca 2016). Asimismo, las caspasas inactivan las proteínas involucradas en la reparación de ADN (por ejemplo, las ADN polimerasas) y las encargadas de la organización del citoesqueleto, además participan en la destrucción de la lámina nuclear, en la activación de la nucleasa CAD e inducen a la célula a expresar señales que las marcan para ser fagocitadas (Ting *et al.* 2005).

En su estado de zimógenos, las caspasas se denominan procaspasas, al recibir la señal apoptogénica sufren un rompimiento proteolítico y dan lugar a dos subunidades que constituyen la enzima activa o caspasa. Las procaspasas se pueden agrupar en dos clases, aquellas que tienen un prodominio N-terminal grande, como la procaspasa-1, 2, 8, 9 y 10, que son iniciadoras y las que presentan el prodominio N-terminal pequeño o carecen de él, como la procaspasa-3, 6 y 7, que son consideradas ejecutoras (Elinos *et al.* 2003).

Vías de señalización de la apoptosis

Existen dos cascadas principales en el proceso apoptótico, la primera de ellas, que sucede en la membrana celular, depende de la acción de los denominados factores de muerte, que actúan a través de receptores y desencadenan la formación de DISC (Complejo de Iniciación de Señalización de Muerte), que genera una señal que recluta caspasas iniciadoras en la membrana de la célula. La segunda cascada involucra a la mitocondria, organelo que es clave, como se mencionó anteriormente, para la integración de señales intra y extracelulares que inician la apoptosis (Elinos *et al.* 2003).

En la formación del DISC, los receptores membranales para factores de muerte se caracterizan porque poseen en el extremo intracelular, una secuencia llamada dominio de muerte (DD), la cual sirve de unión a diversas proteínas adaptadoras que finalmente causan la activación de las caspasas. La activación de los receptores de muerte es consecuencia de la unión de su ligando, que induce la transmisión de una señal, a través del dominio transmembranal, al dominio citoplasmático del receptor. Éste sufre un cambio conformacional que favorece su fosforilación por cinasas asociadas a dicho receptor, que a su vez fosforila los adaptadores FADD (Dominio de Muerte Asociado a Fas), TRADD (Dominio de Muerte Asociado al Receptor del Factor de Necrosis Tumoral, TNFR) o TRAFs (Factor Asociado al Receptor del Factor de Necrosis Tumoral), para activar a la procaspasa-8 y 10 y así iniciar la cascada de caspasas activas (Elinos *et al.* 2003).

Las vías intrínsecas, involucran a la procaspasa-9, que es activada por eventos proapoptóticos mitocondriales en un complejo citosólico con una estructura similar a una rueda, con simetría heptamérica formado bajo la liberación de citocromo C de la mitocondria, el cual es conocido como apoptosoma (Fig. 2). En este caso, es la dimerización de las moléculas de procaspasa-9 por Apaf-1 (factor activador de la proteasa apoptótica), la responsable de la activación de la caspasa-9. Una vez que las caspasas iniciadoras han sido activadas, pueden proteolíticamente activar a las ejecutoras como la caspasa-3, 6 y 7, que subsecuentemente se unen a sustratos proteicos específicos, incluyendo a las propias procaspasas, resultando en la mediación y amplificación de la señal de muerte (Gewies 2003).

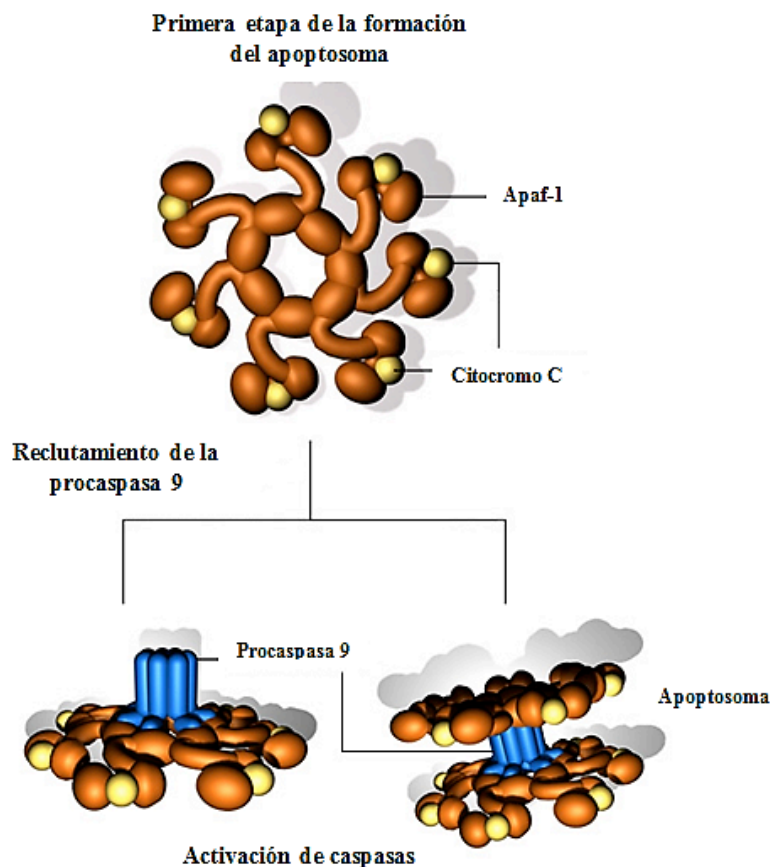


Figura 2. Formación del apoptosoma.

Tomada de <http://www.reading.ac.uk/cellmigration/apoptosis.htm>

Por otra parte, la señalización extrínseca de la apoptosis es mediada por la activación de los llamados receptores de la muerte de la superficie celular, que transmiten señales apoptóticas después de su unión a ligandos específicos. Pertenecen a la superfamilia de los Receptores de Factores de Necrosis Tumoral (TNFR), que incluye a TNFR-1, Fas/CD95, los receptores TRAIL, DR-4 y DR-5 (Ashkenazi 2002).

Después de la unión del ligando, un cambio conformacional en los dominios intracelulares de los receptores revela la presencia del dominio de muerte (DD), que permite el reclutamiento de varias proteínas apoptóticas al receptor (Fig. 3), formando el complejo proteico DISC. El paso final de este proceso, es el reclutamiento de una de las caspasas inactivas al DISC, la procaspasa-8, en donde la concentración de este zimógeno conduce a su activación autocatalítica y liberación de la caspasa-8 activa, que procesa posteriormente caspasas ejecutoras, cuya unión con sustratos ocasionará la muerte celular (Gewies 2003).

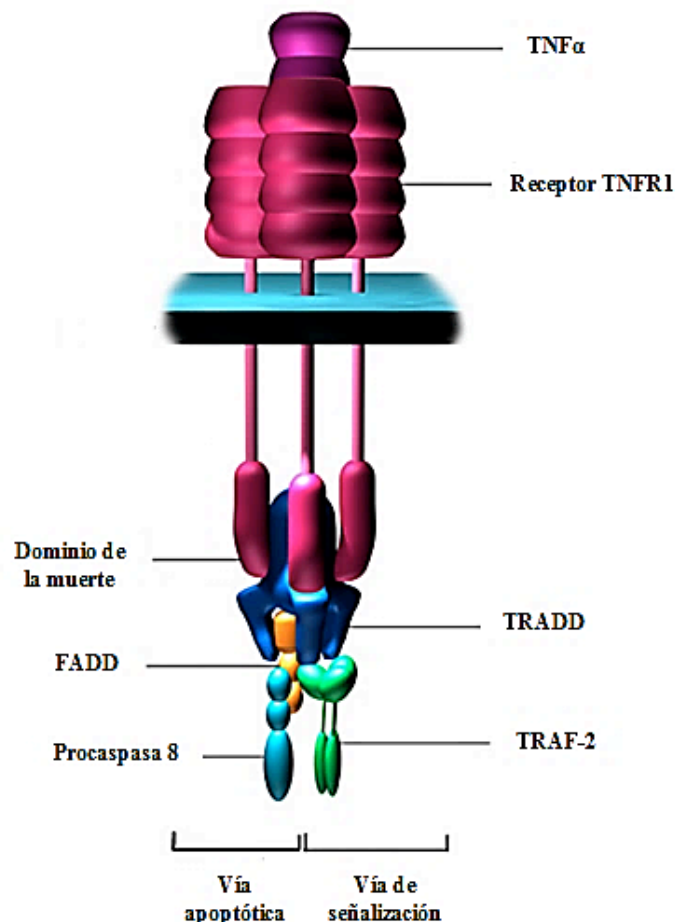


Figura 3. Estructura del receptor de la muerte.

Tomada de <http://www.reading.ac.uk/nitricoxide/intro/apoptosis/receptor.htm>

La conexión entre la cascada de señalización de caspasas y la mitocondria está dada por la proteína Bid, que está unida a la caspasa-8 y translocada a la mitocondria, donde actúa en conjunto con las proteínas proapoptóticas de la familia Bax y Bak, para inducir la liberación del citocromo C y otros factores proapoptóticos hacia el citosol. El citocromo C se une a una Apaf-1 monomérica, sufriendo una oligomerización dependiente de ATP para ensamblar el apoptosoma, que dispara la activación de la procaspasa-9. La caspasa-9 activada, subsecuentemente inicia una cascada de señales que involucra a la caspasa-3, 6 y 7 ejecutoras, resultando en la muerte de la célula (Gewies 2003). Sin embargo, la expresión de proteínas de la familia Bcl-2 (protooncogén del linfoma de los linfocitos B) en los mamíferos conlleva a la inhibición apoptótica mediante el control de la permeabilidad de la mitocondria y la regulación de la liberación del citocromo C. El efecto antiapoptótico de Bcl-2 implica el bloqueo de Bax y el bloqueo del complejo de Apaf-1 y la procaspasa-9 (García y Vecino 2003).

Papel de la mitocondria en la apoptosis

La mitocondria mantiene la vida celular por la producción de ATP y desencadena la muerte celular al liberar proteínas del espacio intermembranal, tales como el citocromo C, Smac/DIABLO (Smac: Segundo Activador Mitocondrial de Caspasas / DIABLO: Proteína de unión Directa a IAP con bajo pI) u Omi, al citosol. Las dos últimas compiten con las caspasas para unirse a las IAP, mientras que el citocromo C participa en la formación del apoptosoma, que junto a la molécula adaptadora Apaf-1, generan el reclutamiento y activación de la caspasa-9. Posteriormente, la caspasa-9 activa a la procaspasa-3 y 7, siendo estas caspasas ejecutoras las responsables del clivaje de varias proteínas que controlan la morfología y bioquímica de la apoptosis (De Toro 2006).

De igual manera, una proteína que figura como reguladora de la función de DIABLO es la survivina, única entre las IAPs de mamíferos, la cual se expresa durante el desarrollo embrionario y fetal, no obstante, es casi indetectable en tejidos adultos sanos, mientras que se ha encontrado sobreexpresada en diversas líneas celulares de cáncer y en prácticamente en todos los tumores humanos analizados (Meléndez y Ceballos 2008). La principal actividad de la survivina es inhibir el procesamiento de la procaspasa-3 y la procaspasa-7 (Tamm *et al.* 1998). De acuerdo con Zhao (2000) la expresión de la survivina es regulada a nivel transcripcional y aparece primero en los centrómeros durante la profase/metafase, se localiza en la zona media del huso durante la anafase/telofase y finalmente desaparece al final de la telofase (Weathley 2001).

Importancia de las principales vías de señalización celular implicadas en la apoptosis

En este trabajo se describieron dos vías de señalización celular para el proceso de apoptosis: la intrínseca o mitocondrial y la extrínseca o mediada por receptores de muerte. La existencia de más de un mecanismo de reconocimiento asegura la remoción eficiente de células apoptóticas, disminuyendo la posibilidad de que estas células liberen su contenido citoplásmico y causen daño. De igual manera, comprender las vías de señalización apoptótica contribuirá a la gen-

eración de dianas terapéuticas contra gran cantidad de padecimientos, destacando principalmente a los distintos tipos de cáncer y enfermedades neurodegenerativas.

Referencias

- Alberts B, Johnson A, Lewis J, Raff M, Roberts K. y Walter P. 2002. *Molecular Biology of the Cell*. Fourth edition. Garland Science. New York. 1616 pp.
- Ashkenazi A. 2002. Targeting death and decoy receptors of the tumour-necrosis factor superfamily. *Nature Reviews Cancer*. 2 (6): 420-30
- De Toro G. 2006. Muerte Celular Programada. Revisión del Paradigma apoptosis-necrosis y formas alternativas de muerte celular. *Actas Hispanoamericanas de Patología*. 1:1-6
- Elinos C, Maldonado V, y Meléndez J. 2003. Caspasas: moléculas inductoras de apoptosis. *Gaceta Médica de México* 139 (5): 493-499
- Gewies A. 2003. Introduction to Apoptosis. *ApoReview*: 1 - 26
- García M y Vecino E. 2003. Vías de señalización intracelular que conducen a la apoptosis de las células de la retina. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*. 78 (7): 351-364
- Jordán J. 2003. Apoptosis: muerte celular programada. *Ámbito Farmacéutico*. 22 (6): 100-106
- Kasuba KC, Vavilala SL y D'Souza JS. 2015. Apoptosis like-cell death in unicelular photosynthetic organism-A review. *Algal Research*. 12: 126-133
- Lizarbe MA. 2007. El suicidio y la muerte celular. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 101: 1-33
- Lockshin RA y Zakeri Z. 2001. Programmed cell death and apoptosis: origins of the theory. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. 2 (7): 545-50
- Maghsoudi N, Zakeri Z y Lockshin RA. 2012. Programmed cell death and apoptosis-where it came from and where it is going: from Elie Metchnikoff to the control of caspases. *Experimental Oncology*. 34 (3): 146-152
- Meier P, Finch A y Evan G. 2000. Apoptosis in development. *Nature*. 407 (6805): 796-801
- Meléndez J y Ceballos G. 2008. Sobreviviendo a DIABLO: lecciones de la survivina en la apoptosis. *Mensaje Bioquímico*. 32: 175-183
- Muñoz DR y Cuca LE. 2016. Compuestos citotóxicos e origen vegetal y su relación con proteínas inhibitoras de la apoptosis. *Revista Colombiana de Cancerología*. 20 (3): 124-134
- Sánchez L y Diosdado F. 2003. Apoptosis: el fenómeno y determinación. *Técnica Pecuaria en México*. 41 (1): 49-62
- Tamm I, Wang Y, Sausville E, Scudiero DA, Vigna N, Oltersdorf T y Reed JC. 1998. IAP-Family Protein Survivin Inhibits Caspase Activity and Apoptosis Induced by Fas (CD95), bax, caspases and Anticancer Drugs. *Cancer Research*. 58: 5315-5320
- Ting F, Li H, Shan C y Liang J. 2005. Caspases family proteases and apoptosis. *Acta Biochimica et Biophysica Sinica*. 37 (11): 719-727
- Wheatley SP, Carvalho A, Vagnarelli P y Earnshaw WC. 2001. INCENP is required for proper targeting of Survivin to the centromeres and the anaphase spindle during mitosis. *Current Biology*. 11 (11): 886-890
- Zhao J, Tenev T, Martins LM, Downward J y Lemoine NR. 2000. The ubiquitin-proteasome pathway regulates survivin degradation in a cell cycle-dependent manner. *Journal of Cell Science*. 113:4363-4671

Manglares: humedales prioritarios en peligro

*Daniel Antonio Franco Carrillo¹ y Roberto Barrientos Medina²

¹Licenciatura en Biología y ²Departamento de Ecología. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán.

*franco.carrillo.daniel@gmail.com

Resumen

En esta contribución se describe la situación actual del ecosistema de manglar en la Península de Yucatán, abarcando aspectos como la riqueza de flora y fauna asociada a estos ecosistemas y los servicios ambientales que brindan a las sociedades humanas. Se enfatiza en el estado de conservación de los bosques de manglar y las acciones de conservación en la región.

Introducción

El término mangle se refiere a un grupo de plantas con las adaptaciones morfológicas, ecológicas y fisiológicas altamente desarrollados a condiciones extremas (Kathiresan y Bingham 2001), entre las que se encuentran alta salinidad, mareas extremas, vientos fuertes, altas temperaturas, suelos fangosos y anaeróbicos. Los manglares son los ambientes o ecosistemas en donde se desarrollan estas comunidades vegetales. Estos humedales, considerados ecosistemas de transición entre los ambientes terrestres y marinos, se localizan en las zonas tropicales y subtropicales del mundo (Lovelock *et al.* 2006). Su superficie total estimada en México para 2015 fue de 775, 555 hectáreas (Valderrama-Landeros *et al.* 2017).

Los manglares se encuentran entre los ecosistemas más productivos del mundo, ya que generan una gran cantidad de nutrientes que llegan a las aguas marinas cercanas a la costa, donde son aprovechados por pastos marinos, arrecifes de coral y una variedad de peces de importancia comercial. También, funcionan como filtros biológicos en la retención y procesamiento de algunos fertilizantes utilizados en la agricultura, en la filtración de agua y abastecimiento de mantos freáticos, captura de gases de efecto invernadero y son sumideros de bióxido de carbono (CONABIO 2009, Cabral 2011, Troche-Souza *et al.* 2016).

Los manglares sirven de barrera natural de protección, contrarrestando la erosión causada por vientos y mares, además protegen las zonas costeras en caso de fenómenos naturales (huracanes y tsunamis) (Giri *et al.* 2008, Lovelock *et al.* 2004). También proporcionan refugio y alimentación a numerosas especies de importancia comercial. Sin embargo, se encuentran entre los ambientes tropicales más amenazados del planeta debido a las actividades humanas en las zonas costeras, destrucción del hábitat, la contaminación y la sobreexplotación de los recursos. De este modo, hay falta de planificación del desarrollo urbano, industrial y turístico, así como del desarrollo

agrícola, ganadero y acuícola, debido a que han desplazado y reducido extensiones considerables de manglares. Los desechos urbanos, industriales, pesticidas, fertilizantes agrícolas, derrames de petróleo y modificaciones a las condiciones hidrológicas han tenido un gran impacto sobre los manglares. La sobreexplotación de algunas especies altera substancialmente la composición, estructura y función de este ecosistema (CONABIO, 2009).

Los manglares de la Península de Yucatán

En la Península de Yucatán se encuentran cuatro especies de mangle: el mangle rojo (*Rhizophora mangle*) (Fig. 1), el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), el mangle negro (*Avicennia germinans*) y el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus* var *erectus*, *C. erectus* var *sericeus*) que están en la categoría de Amenazadas de acuerdo a la NOM 059 SEMARNAT-2010 (DOF 2010, Zaldívar-Jiménez *et al.* 2010).



Figura 1. Mangle rojo (*Rhizophora mangle*). Fotografía de Daniel Antonio Franco Carrillo ©.

En esta región, los manglares son hábitat de numerosas especies de plantas como el zapote (*Manilkara zapota*), chechén negro (*Metopium brownei*), bejucos (*Rhabdadenia biflora*), verdolaga de playa (*Sesuvium portulacastrum*), saladillo (*Batis marítima*), zacate navajuela (*Cladi-*

um jamaicense), pico de gallo (*Bonellia macrocarpa*), juluub (*Bravaisia berlandieriana*) varias especies de bromeliáceas (*Bromelia pinguin* y *Tillandsia spp*), orquídeas (*Prosthechea cochleata* y *Myrmecophila tibicinis*) y helechos (*Acrostichum danaeifolium*) (Rodríguez-Zúñiga *et al.* 2013).

Los manglares proveen, refugio, crianza, crecimiento y zonas de alimentación para organismos marinos, que después migrarán a las costas adyacentes o al océano. También es hábitat de animales de importancia económica y ecológica como moluscos (*Crassostrea rhizophorae*), jaibas (*Callinectes sapidus*), camarones (*Macrobrachium*), insectos, etapas juveniles de peces como bagre (*Arius*), lisa (*Mugil*), mojarras (*Eucinostomus* y *Diapterus*), pargos (*Lutjanus*), robalo (*Centropomus*) y sábalo (*Megalops atlanticus*) (CONABIO 2009).

Entre los vertebrados que se pueden encontrar en los manglares están el cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletti*) y el cocodrilo de río (*Crocodylus acutus*) (sujeto a Protección Especial), coatís (*Nasua narica*), mapaches (*Procyon lotor*), osos hormigueros (*Tamandua mexicana*), jaguares (*Panthera onca*) y es sitio de anidación de especies de aves residentes (Fig. 2) como la garza gris (*Ardea herodias*), la fragata (*Fregata magnificens*) y la espátula rosada (*Platalea ajaja*) y migratorias como los chipes (Parulidae). Es posible encontrar aves en alguna categoría de riesgo, como la cigüeña jabirú (*Jabiru mycteria*), el flamenco americano (*Phoenicopterus ruber*), aguililla negra de manglar (*Buteogallus subtilis*) y la cigüeña (*Mycteria americana*), entre otros (Rodríguez-Zúñiga *et al.* 2013, Troche-Souza *et al.* 2016).

Estado de Conservación

En la Península de Yucatán, en 2015 se contaba con 421,926 ha de manglar, de las cuales 370,613 ha (87.8%) se encuentra en algún Área Natural Protegida (ANP) o sitio Ramsar (Troche-Souza *et al.* 2016, Valderrama-Landeros *et al.* 2017). Campeche concentra la mayor parte del manglar de la Península de Yucatán y el Golfo de México, con una extensión total de 198,853 ha. Además, cuenta con la mayor extensión de manglares en Áreas Naturales Protegidas y sitios Ramsar con 180,622 ha (90%). Para Quintana Roo, la superficie de manglar registrada es de 129,902 ha y el total de manglar en ANPs y Sitios Ramsar es de 103,796 ha (80%). Yucatán cuenta con 93,171 ha de manglar de los cuales 86,195 ha (93%) están presentes en ANPs y Sitios Ramsar. De 2010 al 2015 Quintana Roo recuperó una superficie de manglar de 2,161 hectáreas, seguida de Yucatán con 1,823 ha y Campeche con 1,230 ha (Valderrama-Landeros *et al.* 2017).

Del 2010 al 2015 la superficie de manglar perturbado, que se conforma por zonas con árboles de manglar muertos o en regeneración, dañados por fenómenos naturales o acciones antropogénicas, ha aumentado en el estado de Campeche, pasando de 1,236 ha a 2,067 ha. Estos datos representan un aumento en la perturbación del 67%. En el caso de Yucatán las zonas perturbadas pasaron de 1,789 ha a 1,493 ha y en Quintana Roo de 2,037 ha a 1,717 ha, habiendo una disminución del 16.5% y 15.7% respectivamente. Estas áreas son prioritarias para realizar trabajos de reforestación y recuperación (Rodríguez-Zúñiga *et al.* 2013, Troche-Souza *et al.* 2016, Valderrama-Landeros *et al.* 2017).



Figura 2. Fragatas (*Fregata magnificens*) perchados en vegetación de mangle. Fotografía de Daniel Antonio Franco Carrillo ©.

Acciones de conservación en la Península de Yucatán

Los servicios ambientales que proporcionan los manglares le confieren un alto potencial económico, ecológico y social (Calderón *et al.* 2009). Sin embargo, son afectados por factores antrópicos como deforestación, salinización de sedimentos, contaminación, eutrofización y eventos naturales cada vez más frecuentes y de mayor intensidad por efecto del cambio climático (Zaldívar-Jiménez *et al.* 2010).

Por ello en la Península de Yucatán, que cuenta con más del 50% de la superficie de manglar de todo el país (Herrera-Silveira *et al.* 2012), se deben implementar estrategias apropiadas de manejo de manglares, la restauración de sitios degradados y la conservación de sitios en buen estado.

En Yucatán se han llevado a cabo proyectos de restauración como los realizados por Herrera-Silveira y colaboradores (2012) en Progreso y Celestún, donde se logró la recuperación de 7,37 y 30 ha de manglar respectivamente, a través de acciones de reforestación, construcción de pasos de agua en carreteras, desazolvar manantiales, entre otras. Como resultado se obtuvo que la regeneración natural a través del establecimiento de plántulas ha demostrado tener éxito a un año

de terminadas las principales acciones, con el 70% del área en Celestún y del 40% en Progreso, estos datos fueron posibles gracias al seguimiento que se le dio al proyecto.

Por su parte, Febles-Patrón *et al.* (2009) llevaron a cabo la restauración de la microcuenca costera de Chabihau, Yucatán, entre en 2004 y 2006. En el proyecto se evaluó la sobrevivencia y crecimiento de plántulas de *Rhizophora mangle* L. (mangle rojo) y *Avicennia germinans* L. (mangle negro), en diferentes condiciones hídricas y salinas, así como al método de camas de sedimento. Como resultado se obtuvo que *R. mangle* presentó una mayor sobrevivencia bajo condiciones de mayor inundación y un mayor desarrollo con baja salinidad intersticial, mientras que *A. germinans* presentó una mayor sobrevivencia en áreas menos inundadas y un mayor desarrollo con alta salinidad. La construcción de camas de sedimento para controlar el grado de inundación resultó ser una técnica útil que favorecer la sobrevivencia de *A. germinans*, mientras que el desazolve de manantiales y la disminución de la salinidad del agua, beneficia el desarrollo de las plántulas de ambas especies.

El estudio realizado por Andueza (2011) señala como la distancia de la costa, la salinidad y recursos influye en la supervivencia de especies de manglar reforestadas, esto con el objetivo de que los programas de reforestación cuenten con un monitoreo de parámetros hidrológicos y de suelo (especialmente nivel de inundación y salinidad), para lograr hacer una selección de especies y métodos adecuados que aseguren la mayor sobrevivencia y mejor desarrollo de las plantas.

En la Laguna de Términos, Campeche en 2005 se llevó a cabo la restauración de 24.5 hectáreas de manglar. En este estudio se identificaron los factores estresantes ya sea químicos, físicos o biológicos que llevan a la degradación del mangle. Conociendo estos factores se optó en primera instancia por rehabilitar hidrológicamente el sitio degradado mediante la apertura de un canal principal y canales secundarios conectados a las lagunas internas, esta acción incrementó el oxígeno intersticial, diluyó la sal, disminuyó la temperatura, minimizando el estrés y favoreció el crecimiento de las plántulas. Debido a las características fisicoquímicas resultantes del área rehabilitada se seleccionó la especie de mangle *Avicennia germinans*, la cual prospera en los intervalos de tolerancia que presentó el sitio (Agraz y Arriaga 2011).

Estudios realizados por Lovelock *et al.* (2004 y 2006) indican que el nitrógeno y fósforo influyen en el crecimiento y supervivencia de especies de mangle en diferentes países. Esto es relevante debido a la contaminación por nutrientes que tienen este tipo de ecosistemas y la eutrofización prevista por el cambio climático. Sin embargo, este tipo de estudios no se han realizado en México y es importante conocer los posibles efectos que causarían como cambios en la dominancia de especies y en la distribución de los manglares.

En años recientes en Yucatán y Quintana Roo se ha visto una disminución en la superficie de manglar perturbado. Esto puede deberse a las políticas de conservación de manglar, que permiten mayor tiempo de recuperación a las zonas afectadas y no permiten el cambio de uso de suelos inmediato, de igual modo puede deberse al aumento en los trabajos de reforestación y restauración de zonas perturbadas; sin embargo, no existen estudios específicos que lo comprueben (Valderrama-Landeros *et al.* 2017).

En contra parte, Campeche sigue aumentando la superficie de mangle perturbado. Esto puede deberse a causas naturales o a un mal manejo de las políticas de conservación de manglar, que aunado a la corrupción causa que hectáreas de manglar sean vendidas y deforestadas para la creación de inmuebles.

La conservación del manglar debe ser un esfuerzo colectivo entre instituciones de gobierno y sociedad, por lo tanto, una de las alternativas para su conservación es promover la educación ambiental, concientizando a los pobladores de la importancia de este ecosistema y los beneficios que brinda a la sociedad. Promover el uso sustentable de estos ecosistemas a través de actividades ecoturísticas que brinden sustento económico a los pobladores. Fomentar la venta de bonos de carbono por parte de los pobladores, con lo cual aumenta el beneficio económico de la conservación de este ecosistema y con ayuda del gobierno impulsar la venta de bonos de carbono azul.

De igual modo se deben continuar con los trabajos de restauración de manglar, perfeccionando las metodologías, con el fin de obtener mejores resultados de establecimiento de plántulas, y considerar los parámetros fisicoquímicos adecuados dependiendo del lugar. Se debe vigilar la aplicación adecuada de las políticas públicas de conservación, así como castigar de manera más severa la tala de hectáreas de manglar.

Referencias

- Agraz Hernández CM, y Arriaga V. 2011. Restauración con manglar en Laguna de Términos. 150-151 pp. En: Elvira Quesada JR, Granado Chapa MA, Ramírez Santiago R, Trujillo Bolio I, Carabias Lillo J y Sarukhán Kermez J (coord.). Patrimonio Natural de México: Cien casos de éxito. Capítulo 62. CONABIO.
- Andueza, Ma. 2011. Análisis del crecimiento de manglar bajo gradientes ambientales en una zona de rehabilitación hidrológica y reforestación en Celestún, Yucatán. Tesis Profesional. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UADY. 68 pp.
- Cabral E. 2011. Efectos antropogénicos sobre la calidad del agua, diversidad y abundancia de la fauna neotónica de la laguna de Cuyutlán, Colima, México: Recomendaciones para su manejo. Tesis Profesional. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 134 pp.
- Calderón C, Aburto O, y Ezcurra E. 2009. El valor de los manglares. CONABIO. Biodiversitas 82: 1-6.
- CONABIO. 2009. Manglares de México: Extensión y distribución. Segunda edición. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 99 pp.
- Diario Oficial de la Federación. 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. Segunda edición. 78 pp.
- Febles-Patrón JL, Novelo López J, y Batllori Sampedro, E. 2009. Pruebas de reforestación de mangle en una ciénaga costera semiárida de Yucatán, México. *Madera y bosques*, 15(3): 65-86.
- Giri C, Zhu Z, Tieszen L, Singh A, Gillette S y Kelmelis J. 2008. Mangrove Forest Distributions and Dynamics (1975 - 2005) of the Tsunami – Affected Region of Asia. *Journal of Biogeography*. 35(3): 519-528.
- Herrera-Silveira JA, Zaldívar-Jiménez A, Teutli-Hernández C, Pérez Ceballos R, Caamal J y Andueza T. 2012. Rehabilitación de manglares en el estado de Yucatán sometidos a diferentes condiciones hidrológicas y nivel de impacto: el caso de Celestún y Progreso. Centro de Inves

- estigación y de Estudios Avanzados. Unidad Mérida. Informe Final SNIB-CONABIO. Proyecto GH009. México, D.F. 69 pp.
- Kathiresan K y Bingham BL. 2001. Biology of Mangroves and Mangrove Ecosystems. *Advances in Marine Biology*. 40: 81-251.
- Lovelock CE, Feller IC, McKee KL, Engelbrecht BMJ, y Ball MC. 2004. The effect of nutrient enrichment on growth, photosynthesis and hydraulic conductance of dwarf mangroves in Panama. *Functional Ecology*. 18: 25 -33.
- Lovelock CE, Ball MC, Feller IC, Engelbrecht BMJ, y Mei Ling Ewe. 2006. Variation in hydraulic conductivity of mangroves: influence of species, salinity, and nitrogen and phosphorus availability. *Physiologia Plantarum*. 127: 457- 464.
- Rodríguez-Zúñiga MT, Troche-Souza C, Vázquez-Lule AD, Márquez-Mendoza JD, Vázquez-Balderas B, Valderrama-Landeros L, Velázquez-Salazar S, Cruz-López MI, Ressler R, Uribe-Martínez A, Cerdeira-Estrada S, Acosta Velázquez J, Díaz-Gallegos J, Jiménez-Rosenberg R, Fueyo Mac Donald L. y Galindo-Leal C. 2013. Manglares de México/ Extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F. 128 pp.
- Troche-Souza C, Rodríguez-Zúñiga MT, Velázquez-Salazar S, Valderrama Landeros L, Villeda-Chávez E, Alcántara-Maya A, Vázquez-Balderas B, Cruz-López MI y Ressler R. 2016. Manglares de México: extensión, distribución y monitoreo (1970/1980 — 2015). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 15 pp.
- Valderrama-Landeros LH, Rodríguez-Zúñiga MT, Troche-Souza C, Velázquez-Salazar S, Villeda-Chávez E, Alcántara-Maya JA, Vázquez-Balderas B, Cruz-López MI, Ressler R. 2017. Manglares de México: actualización y exploración de los datos del sistema de monitoreo 1970/1980–2015. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México. 128 pp.
- Zaldívar-Jiménez A, Herrera-Silveira J, Teutli-Hernández H, Hernández Saavedra C, y Caamal-Sosa R. 2010. Manglares. 138-139 pp. En: Duran R. y M. Méndez (eds.). Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. 491 pp.

Primates en peligro de extinción de la Península de Yucatán: estudios actuales y futuras líneas de investigación

*Ileana Isabel Lugo Artigas

Licenciatura en Biología, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán.

*ileana_lugo@hotmail.com

Resumen

En la península de Yucatán se distribuyen principalmente dos especies y una subespecie de primates, el mono aullador negro (*Allouatta pigra*), el mono araña (*Ateles geoffroyi*) y (*Ateles geoffroyi yucatanensis*) respectivamente. A causa de la destrucción de su hábitat, la caza furtiva y el comercio ilegal de mascotas, estas especies se encuentran catalogadas en peligro de extinción. La importancia de estos primates reside en la función ecológica que desempeñan, por la cual se consideran especies prioritarias para la conservación. En este trabajo se presenta una revisión bibliográfica de los trabajos de investigación relacionados con la fisiología, genética y ecología de dichas especies a nivel local. Además, se presenta información general sobre su descripción, distribución y alimentación así como futuras líneas de investigación.

Introducción

La diversidad de mamíferos terrestres en la Península de Yucatán incluye 123 especies pertenecientes a 89 géneros, 29 familias y 11 órdenes. Entre los órdenes con mayor número de especies se encuentran Chiroptera con 64 y Rodentia con 20, ambos representando el 68% de la mastofauna de la Península (Sosa-Escalante *et al.* 2013) y siendo estos dos últimos los grupos más estudiados en la esta región (Sosa-Escalante *et al.* 2014).

Los primates son uno de los grupos más diversos del mundo con 390 especies y 259 subespecies, siendo el neotrópico del continente americano el hábitat de la tercera parte de dichas especies (Tobón *et al.* 2012). En la península de Yucatán se han registrado dos especies y una subespecie de primates: el mono aullador negro (*Alouatta pigra*), el mono araña (*Ateles geoffroyi*) y la subespecie *Ateles geoffroyi yucatanensis* (Sosa-Escalante *et al.* 2013), que se encuentran en peligro de extinción de acuerdo la Norma Oficial Mexicana NOM-059- SEMARNAT 2010. Además, el mono aullador negro (*A. pigra*) y el mono araña (*A. geoffroyi*), están dentro de las categorías de mayor riesgo de la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (Tobón *et al.* 2012).

El hábitat de estos primates es principalmente las selvas tropicales del sureste mexicano, de las que se ha perdido cerca del 77% de su cobertura original. Lo anterior representa una amenaza para estas especies, debido a sus hábitos arborícolas y su alimentación (principalmente folívoro-frugívora). Aunado a lo anterior, la carga excesiva sobre los recursos naturales que genera el acelerado crecimiento poblacional humano ha afectado las poblaciones de primates (Estrada *et al.* 2012), ocasionando la pérdida de su hábitat natural (Rangel-Negrín *et al.* 2014) y conduciendo a un incremento en el aislamiento en las especies que se encuentran en áreas no protegidas. Los efectos negativos sobre dichas especies aumentan de forma considerable por actividades como la caza y la explotación forestal (Arroyo-Rodríguez *et al.* 2007).

Las especies de primates que tienen gran parte de su distribución dentro de la Península de Yucatán cumplen un rol importante en la regeneración de los ecosistemas, por lo que se consideran especies prioritarias para la conservación (Tobón *et al.* 2012). El objetivo de este trabajo fue realizar una revisión de la literatura que permita dar a conocer los aspectos generales de las especies *A. pigra* y *A. geoffroyi* y mencionar los trabajos de investigación que se han llevado a cabo en los últimos años en la Península de Yucatán, con el propósito de detectar vacíos de información y futuras líneas de investigación.

El mono aullador negro (*Alouatta pigra*)

Estos primates presentan pelaje completamente negro (Fig. 1 y 2), con dimorfismo sexual, siendo los machos mayores que las hembras (Améndola 2009). Se distribuye en la Península de Yucatán, Belice, Guatemala, Chiapas y Tabasco. Su hábitat natural es el bosque tropical lluvioso, sin embargo, se ha reportado en tierras bajas inundables en Campeche. Estos animales viven en grupos pequeños que no exceden los 10 individuos (Marsh *et al.* 2008).

Si bien prefieren alimentarse de hojas jóvenes, la dieta de los aulladores puede incluir hojas maduras. A esta característica única de la especie se le atribuye su capacidad de tener una amplia distribución. También consumen fruta madura, yemas, flores, semillas, musgo, tallos, ramas y termitas (Marsh *et al.* 2008). Entre las especies vegetales que consumen se encuentran el chaká (*Bursera simaruba*), mango (*Mangifera indica*), cítricos (*Citrus* spp), plátano (*Musa paradisiaca*) y eucalipto (*Eucalyptus* spp), de las cuáles las primeras cuatro se encuentran en la Península de Yucatán (Estrada *et al.* 2012).

El mono araña (*A. geoffroyi*)

Es un primate grande con cuerpo esbelto, sus extremidades son muy largas con cuatro dedos en forma de garra y es de cabeza pequeña con relación a su cuerpo (Fig. 3). Del mismo modo, su cola es de gran longitud y con la punta desnuda. Su pelaje puede ser negro, café o rojizo (Fig. 4). La parte ventral puede ser de color café claro, blancuzco, rojizo claro o amarillento (CONABIO, 2011). Las hembras llegan a la madurez reproductiva después de los cinco años de edad y los intervalos entre partos van de dos a cuatro años (Hagell *et al.* 2013).



Figura 1. Mono aullador negro, *Alouatta pigra*, Kohunlich. 2015. Fotografía de Rizieri Aviles ©.



Figura 2. Mono aullador negro, *Alouatta pigra*, Calakmul 2016. Fotografía de Daniel Cabrera ©.

Su distribución abarca los bosques de la Península de Yucatán, el noreste de Guatemala y partes adyacentes de Belice. Habita en sitios húmedos tropicales como el bosque tropical perennifolio, subcaducifolio y caducifolio, también puede encontrarse temporalmente en zonas inundables, en pantanos y manglares (Cuarón *et al.* 2008). Viven en grupos de cinco a 10 individuos (CONABIO 2011).



Figura 3. Mono araña, *Ateles geoffroyi*, Punta Laguna. 2016. Fotografía de Daniel Cabrera ©.

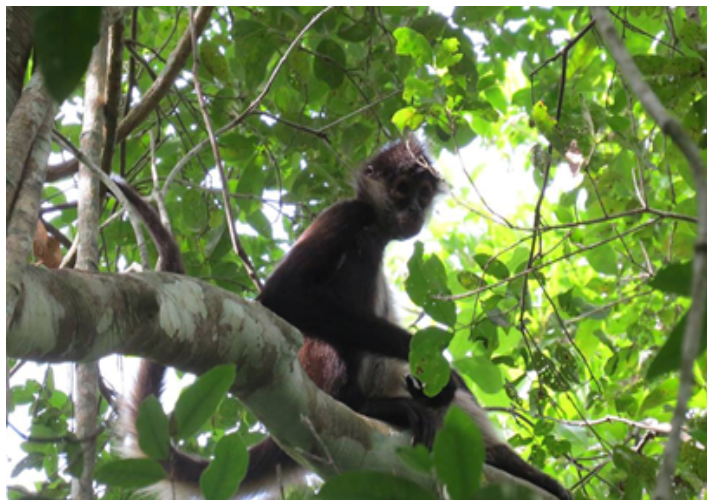


Figura 4. Mono araña, *Ateles geoffroyi*, Punta Laguna. 2015. Fotografía de Daniel Franco ©.

En cuanto a su alimentación, son altamente frugívoros, sin embargo, también incluyen en su dieta hojas jóvenes, flores, semillas, raíces aéreas, miel y en raras ocasiones pequeños insectos. Entre las especies vegetales que consumen se encuentran el koochlé (*Cecropia obtusifolia*), ramón (*Brosimum alicastrum*), tamarindo silvestre (*Dialium guianense*), ciruela amarilla (*Spondias mombin*) (CONABIO 2011). Además de las anteriormente mencionadas se ha demostrado que también consumen frutos de higo (*Ficus maxima*), zapote (*Manilkara zapota*) y chechén negro (*Metopium brownei*), hojas y flores de mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y hojas de palma de huano (*Sabal yapa*) (Burgos-Solís y Montiel 2016).

Investigación en la última década sobre primates en la Península de Yucatán

Fisiología. Rangel-Negrín *et al.* (2009), realizaron un estudio en la Península de Yucatán en el cuál evaluaron si los efectos de las condiciones ambientales influyen sobre los niveles de estrés, en poblaciones salvajes y en cautiverio del mono araña (*A. geoffroyi*), a través de la medición de los niveles de cortisol fecal. En sus resultados obtuvieron que las poblaciones que habitaban en bosques conservados tenían menores niveles de cortisol, por lo que la fragmentación del hábitat y el cautiverio fueron factores que influyeron de forma negativa, dando como resultado estrés metabólico y en el comportamiento. Además, se encontraron diferencias entre sexos y temporadas, siendo más altos los niveles de cortisol fecal en machos durante la temporada de secas.

Rangel-Negrín *et al.* (2014), utilizaron *A. pigra* como estudio de caso para evaluar los niveles de la hormona glucocorticoides en poblaciones que habitan en áreas protegidas y no protegidas. En sus resultados encontraron altas concentraciones de dicha hormona en poblaciones de monos aulladores que habitan en áreas no protegidas. Esto posiblemente se deba a la alta exposición a factores estresantes como la presencia de actividades humanas o escasez de alimento, por lo que sus poblaciones pudieran no ser viables a largo plazo.

En ambos trabajos mencionados se refleja la importancia de iniciar y mejorar los planes de conservación con respecto a ambas especies (*A. pigra* y *A. geoffroyi*), además de que los mismos factores ambientales evaluados en dichos trabajos, pueden estar afectando también a la subespecie del mono araña *Ateles geoffroyi yucatanensis*, de modo que es necesario también llevar a cabo estudios que evalúen dichos factores en esta subespecie.

Genética. Améndola (2009) llevó a cabo un estudio sobre la variabilidad genética en poblaciones de *A. pigra* en Campeche. En este trabajo se evaluó el impacto que genera la pérdida del hábitat sobre la estructura genética de las poblaciones de monos aulladores. Esto se llevó a cabo a través del cálculo de niveles de variabilidad genética, estructuración y flujo génico dentro y entre poblaciones, en sitios con diferentes niveles de perturbación. Así mismo, desarrollaron una nueva técnica de colecta no invasiva para muestras utilizables como fuente de ADN y llevaron a cabo un diagnóstico del estado de conservación de la especie en la Península de Yucatán a través de un sistema de información geográfica. En sus resultados encontraron bajos niveles de diversidad genética en comparación con otras poblaciones de la especie o con otras especies del género. El mayor flujo génico se encontró en el sitio más conservado. En cuanto al análisis de conservación obtuvieron un índice de amenaza de hábitat de medio a alto en la mayoría de las localidades con presencia de mono aullador.

Ecología. Urquiza-Haas *et al.* (2010), llevaron a cabo un trabajo en el que examinaron patrones de riqueza de diferentes especies de vertebrados y sus tasas de encuentro en la Península, esto a través de encuestas de transectos lineales. En raras ocasiones se encontraron monos aulladores, incluso en bosques conservados a diferencia del mono araña en el que la tasa de encuentro fue alta.

Ramos-Fernández *et al.* (2013) llevaron a cabo un estudio en el que se evaluó el grado de fidelidad del sitio en dos grupos de monos araña durante 10 y 13 años en la Península de Yucatán. Obtuvieron que los rangos domésticos fueron utilizados durante pocos años y áreas pequeñas que fueron utilizadas como áreas centrales se ocuparon durante todo el estudio.

Por último, uno de los trabajos más recientes es el de Burgos-Solís y Montiel (2016), en el que se inician los registros sobre alimentación y composición de tropa de *A. geoffroyi* en petenes del humedal costero de Campeche, en el cual se reportó el consumo de partes vegetales de cinco especies y dentro de estas, el primer registro de consumo de *Sabal yapa* en la dieta del mono araña dentro del Neotrópico.

Distribución. La distribución del mono aullador negro se concentra casi por completo en la Península de Yucatán y el mono araña en toda la región sureste.

Conclusión

En general, los resultados de los estudios expuestos aquí hacen evidente que la fragmentación del hábitat es uno de los factores más perjudiciales para ambas especies de primates, sin embargo, existe aún un gran vacío de información sobre otros factores que pueden estar jugando papeles clave dentro de sus poblaciones.

Futuras líneas de investigación

- ♣ Estudios enfocados a la distribución y abundancia de las poblaciones de ambas especies a escala local.
- ♣ Determinación de patrones sociales, de apareamiento y dispersión entre tropas de ambas especies.
- ♣ Evaluación de la eficacia de las Áreas Naturales Protegidas para la conservación de los primates y su hábitat.
- ♣ Evaluación de la presencia de primates en agroecosistemas, así como el impacto ecológico y económico que tienen sobre los mismos.

- ♣ Estudios de posibles estrategias adoptadas por los primates para su sobrevivencia durante los períodos de escasez de alimento.
- ♣ Evaluación de los efectos de perturbaciones antropogénicas en la estructura, dinámica y viabilidad poblacional de los primates.
- ♣ Evaluación de la influencia de las variables climáticas y composición de la vegetación en las poblaciones de primates.

Agradecimientos

Se agradece atentamente a Daniel Cabrera Cen, Rizieri Aviles Novelo y Daniel Antonio Franco Carrillo, quienes permitieron utilizar sus fotografías en esta investigación. Este trabajo se generó como parte de las actividades dentro del Programa de Servicio Social, del Departamento de Ecología del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán, del cual es responsable el M. en C. Roberto Barrientos Medina.

Referencias

- Améndola M. 2009. Estudio de la variabilidad genética en poblaciones de *Alouatta pigra* del estado de Campeche: Implicaciones para la conservación. Instituto de Ecología, A. C. 19 pp.
- Arroyo-Rodríguez V, Mandujano S, Benítez-Malvido J y Cuende-Fanton C. 2007. The Influence of Large Tree Density on Howler Monkey (*Allouatta palliata mexicana*) Presence in Very Small Rain Forest Fragments. *Biotropica*. 39(6): 760-766
- Burgos-Solís Y y Montiel S. 2016. Prospección alimentaria del mono araña (*Ateles geoffroyi*) en petenes del humedal costero de Campeche, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 32(3): 404-406
- CONABIO. 2011. Fichas de especies prioritarias. Mono Araña (*Ateles geoffroyi*). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F. Fecha de consulta 7/03/2017 en http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/especies_priori/fichas/pdf/monoArana.pdf.
- Cuarón AD, Morales A, Shedden A, Rodríguez-Luna E, de Grammont PC y Cortés-Ortiz L. 2008. *Ateles geoffroyi*. The IUCN Red List of Threatened Species. Fecha de consulta 07/03/2017 en <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T2279A9387270.en>
- Estrada A, Raboy BE y Oliveira LC. 2012. Agroecosystems and Primate Conservation in The Tropics: A Review. *American Journal of Primatology* 74(8): 696 -711
- Hagell S, Whipple AV y Chambers CL. 2013. Population genetic patterns among social groups of the endangered Central American spider monkey (*Ateles geoffroyi*) in a human-dominated landscape. *Ecology and Evolution*. 3(5): 1388-1399
- Marsh LK, Cuarón AD, Cortés-Ortiz L, Shedden A, Rodríguez-Luna E y de Grammont PC. 2008. *Alouatta pigra*. The IUCN Red List of Threatened Species. Fecha de consulta 06/03/2017 en <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T914A13094441.en>.

- Ramos-Fernández G, Smith SE, Schaffner CM, Vick LG y Aureli F. 2013. Site Fidelity in Space Use by Spider Monkeys (*Ateles geoffroyi*) in the Yucatan Peninsula, Mexico. PLoS ONE. 8(5): e62813
- Rangel-Negrín A, Alfaro JL, Valdez RA, Romano MC y Serio-Silva JC. 2009. Stress in Yucatán spider monkeys: effects of environmental conditions on fecal cortisol levels in wild and captive populations. *Animal Conservation* 12: 495-502
- Rangel-Negrín, A, Coyohua-Fuentes A, Chavira R, Canales-Espinosa D y Dias PA. 2014. Primates Living Outside Protected Habitats Are More Stressed: The Case of Black Howler Monkeys in the Yucatán Peninsula. PLoS ONE. 9(11): e112329
- Sosa-Estrada JE, Pech-Canché JM., MacSwiney MC y Hernández-Betancourt S. 2013. Mamíferos terrestres de la península de Yucatán, México: riqueza, endemismo y riesgo. *Revista Mexicana de Biodiversidad* DOI: 10.7550/rmb.33285
- Sosa-Estrada JE, Hernández-Betancourt S, Pech-Canché JM, MacSwiney M y Díaz-Gamboa, R. (2014). Los mamíferos del estado de Yucatán. *Revista Mexicana de Mastozoología Nueva época*. 4(1): 40-59
- Tobón W, Urquiza-Haas T, Ramos-Fernández G, Calixto-Pérez E, Alarcón J, Kolb M y Koleff P. 2012. Prioridades para la conservación de los primates en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Asociación Mexicana de Primatología, A. C. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México.
- Urquiza-Haas T, Peres CA y Dolman PM. 2010. Large vertebrate responses to forest cover and hunting pressure in communal landholdings and protected areas of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Animal Conservation*.14: 271-282

Características seminales de ejemplares de tres razas ovinas en el altiplano mexicano

*Jesús Ricardo Aké López¹, Husim Balderas Femat¹, Yesmin M. Domínguez Hernández²
y Jesús Ricardo Aké Villanueva¹

¹Departamento de Reproducción Animal Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán. ²CEIEPAA-Universidad Nacional Autónoma de México.

*alopez@correo.uady.mx

Resumen

Con el objetivo de comparar las características seminales de ejemplares de tres razas ovinas en el altiplano mexicano, se utilizaron nueve machos adultos de las razas Katahdin (n=3), Suffolk (n=3) y Dorset (n=3) a los cuales, durante junio y julio, dos veces por semana por siete semanas, se les colectó el semen por vagina artificial. Se evaluó el volumen seminal, motilidad masal, motilidad individual, concentración y anomalías espermáticas mediante procedimientos lineales generales. El volumen seminal promedio (1.17 ± 0.42 ml) fue similar entre razas ($P > 0.05$). Los machos Katahdin presentaron mayor motilidad masal (3.95 vs 1.85 puntos; $P < 0.05$), motilidad individual (85.83 vs 41.90 %; $P < 0.05$) y concentración espermática (3345.2 vs 1980.5×10^6 esp/ml; $P < 0.05$), y una menor proporción de anomalías espermáticas (5.28 vs 8.49 %; $P < 0.05$) que los machos Dorset. Los valores de los machos Suffolk fueron intermedios entre las otras dos razas. En conclusión, la raza Dorset presentó menor calidad seminal en comparación a las razas Katahdin y Suffolk.

Introducción

Con la finalidad de mejorar las características de producción del rebaño ovino, se han implementado sistemas de cruzamiento, usando razas lanares, como la Dorset y Suffolk, en cruzamientos con las razas de pelo, como la Pelibuey y Blackbelly, buscando mejorar las características cárnicas y reproductivas de las crías. También, se han utilizado razas de pelo mejoradas las cuales mantienen su rusticidad, pero con ellas se pueden obtener rendimientos alimenticios y ganancias de peso similares a las obtenidas por las razas de lana, como es el caso de la raza Katahdin (Berumen-Alatorre y Luna-Palomera 2011).

Para aprovechar esta diversidad entre razas es necesario seleccionar a los animales que manifiesten las mejores características productivas y reproductivas. En el caso de los machos, esta selección es de gran importancia debido a la mayor capacidad de ellos para dejar descendencia. Por esto es necesario llevar a cabo la evaluación productiva y reproductiva de los machos, la cual

provee las bases para tomar las decisiones en el manejo de los sementales o bien para el desecho de los machos que no se consideren satisfactorios para propósitos reproductivos (Ley *et al.* 1990).

Uno de los aspectos fundamentales en el examen reproductivo del macho es la evaluación de la calidad del semen, debido a la importancia para determinar su viabilidad y establecer ciertos parámetros del mismo, y de esta forma establecer la funcionalidad de los machos como reproductores. La calidad del semen puede estar influenciada por distintos factores que pueden ser ambientales, raciales o incluso la interacción entre éstos (Cárdenas-Gallegos *et al.* 2012). Aunque en el caso del macho no se presenta una marcada estacionalidad, se reportan variaciones de la calidad seminal entre las razas, debido a la latitud en que se encuentren, siendo las más afectadas por la estación aquellas que se encuentran más alejadas del ecuador. El objetivo del presente trabajo fue comparar las características seminales de ejemplares de ovinos de las razas Suffolk, Dorset y Katahdin, durante junio y julio en el altiplano mexicano.

Materiales y métodos

El estudio se realizó del 7 de junio al 24 de julio de 2013, en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Animal en el Altiplano (CEIEPAA) de la Universidad Nacional Autónoma de México, ubicado en el municipio de Tequisquiapan, Querétaro (20° 36' 43.27" N; 99° 54' 54.77" E). El clima es BSw (semi-seco estepario, con lluvias en verano), con temperatura promedio de 17.5° C y precipitación pluvial anual promedio de 388.42.

Se utilizaron 9 sementales de las razas Katahdin (n=3), Dorset (n=3) y Suffolk (n=3), los cuales al inicio del estudio contaban con edad promedio de 2.7 ± 0.8 años, peso corporal promedio de 101.7 ± 9.4 kg y condición corporal de 3.5 puntos de acuerdo en la escala de 0 a 5 puntos. Los sementales se encontraban clínicamente sanos y estaban completamente estabulados en corrales con piso de cemento y techados, la alimentación fue con alfalfa henificada, además contaban con sales minerales y agua a libre acceso.

Dos veces por semana (Lunes y Jueves), durante 7 semanas, se recolectó el semen de los machos (un eyaculado al día/semental) por medio de vagina artificial. Todos los machos ya habían tenido entrenamiento previo con el uso de la vagina artificial. Una vez colectado el semen, se procedió inmediatamente a su evaluación, y se consideraron los siguientes aspectos:

Volumen (Vol). Se determinó en forma directa en los tubos de recolección graduados.

Motilidad masal (MM): Fue determinada poniendo una gota de semen puro sobre un portaobjetos, el cual se observó al microscopio a 100 aumentos; la calificación de la motilidad masal se basó en la intensidad y velocidad de los remolinos formados por los espermatozoides y se calificó de 0 a 5 puntos.

Motilidad individual (MI): Se determinó colocando una gota de semen diluida (1:3 con citrato de sodio) entre un portaobjetos y un cubreobjetos, la cual se observó en un microscopio a 400 aumentos; la calificación se basó en el movimiento rectilíneo progresivo de los espermatozoides y se valoró en una escala de 0 a 100 %.

Concentración (Conc): Se determinó utilizando un hemocitómetro, utilizando semen diluido (1:400) en solución salina fisiológica buferada con formol; se expresó en millones de espermatozoides por ml ($\times 10^6/\text{ml}$).

Anormalidades espermáticas (Anom): Se realizó un frotis de una gota del semen con eosina-nigrosina, se observó al microscopio a 800-1000 aumentos y se contaron 100 espermatozoides en diferentes campos del frotis, se calificó a una escala de 0 a 100 % (Ake-López *et al.* 2013).

Las variables analizadas fueron volumen del semen, concentración espermática, motilidad masal, motilidad individual y anomalías espermáticas. Los resultados se analizaron mediante procedimientos lineales generales (PROC GLM) siendo el efecto principal la raza de los animales evaluados. La comparación entre las medias se realizó con la prueba de Tukey, todo a través del paquete estadístico SAS (2003).

Resultados

En la Tabla 1 se presentan los promedios de las características seminales de las tres razas estudiadas. El volumen de semen fue similar ($P>0.05$) para las tres razas con un promedio de 1.17 ± 0.42 ml. Las mejores características seminales fueron para la raza Katahdin con una MM de 3.95 (puntos), MI de 85.83 %, Concentración de 3345.2×10^6 ml, y solo 5.28 % de anomalías espermáticas, siendo diferentes estadísticamente ($P<0.05$), a los valores observados en la raza Dorset que presentaron las peores características seminales. Los sementales Suffolk presentaron valores intermedios entre las otras dos razas (Tabla 1).

Tabla 1. Promedio (\pm DE) de las características seminales de los ejemplares de las tres razas de ovinos estudiadas.

Características seminales	Razas		
	Katahdin (n=42)*	Suffolk (n=42)*	Dorset (n=42)*
Volumen (ml)	1.03 ± 0.43^a	1.12 ± 0.33^a	1.35 ± 0.41^a
Motilidad Masal (0-5)	3.95 ± 0.53^a	3.21 ± 0.60^{ab}	1.85 ± 0.92^b
Motilidad Individual (%)	85.83 ± 7.48^a	71.66 ± 11.02^a	41.90 ± 18.54^b
Concentración ($\times 10^6$ ml)	3345.2 ± 807.8^a	3242.9 ± 968.7^a	1980.5 ± 749.3^b
Anormalidades (%)	5.28 ± 1.89^b	5.95 ± 3.17^b	8.49 ± 6.10^a

a, b, literales diferentes en la misma línea, indican diferencia estadística ($P<0.05$).

*, los valores de "n" representan el número de eyaculados evaluados.

Discusión

En este trabajo se encontró efecto de la raza sobre las principales características seminales evaluadas. Esto es similar a lo reportado por varios autores (Boland *et al.* 1985; Ibrahim 1997; Cárdenas-Gallegos *et al.* 2012), que también encontraron influencia de la raza sobre una o varias de las características seminales evaluadas.

Cárdenas-Gallegos *et al.* (2012) encontraron en condiciones tropicales la influencia del efecto racial sobre las características seminales y reportaron que los machos de la raza Katahdin presentan menor motilidad masal e individual, menor concentración y mayor porcentaje de anomalías espermáticas que los machos de las razas Dorper, Blackbelly y Pelibuey. El efecto racial es similar a lo encontrado en el altiplano mexicano en el presente trabajo; sin embargo, en nuestro estudio a diferencia del trabajo de Cárdenas-Gallegos *et al.* (2012), la raza Katahdin fue la que presentó las mejores características seminales, los machos Suffolk presentaron los promedios intermedios y los sementales Dorset presentaron los promedios más bajos.

En cuanto a los promedios observados se puede indicar que los parámetros de MM, MI, concentración y las anomalías espermáticas en las razas Katahdin y Suffolk están dentro de los promedios reportados por diferentes autores y que se consideran como aceptable para los sementales ovinos; Sin embargo, los valores de MM y MI de la raza Dorset difieren en forma importante a los reportados por Boland *et al.* (1985) y Valencia *et al.* (1979), los cuales indican un promedio mayor 3 puntos para MM y 65 % para MI; lo cual se considera inadecuado para considerar a un semental como satisfactorio. Además, los sementales de la raza Dorset mostraron una concentración baja, y muy por debajo de lo reportado para esta raza, que es de 3,330 a 3,960 x10⁶ esp/ml, (Valencia *et al.* 1979; Boland *et al.* 1985; Mandiki *et al.* 1998; Gimenez y Rodning 2007). Con respecto a las anomalías espermáticas, aunque la raza Dorset presentó un mayor porcentaje de anomalías en comparación con ejemplares de las razas Katahdin y Suffolk, el promedio observado de las tres razas estudiadas en el presente trabajo están dentro de los estándares para machos reproductores mencionados por diversos investigadores (Valencia *et al.* 1979, Gimenez y Rodning 2007, Cárdenas Gallegos *et al.* 2012).

La diferencia racial encontrada entre las características seminales puede ser debida a un efecto combinado de época y de raza, como lo ha reportado Cárdenas Gallegos *et al.* (2012). En este sentido hay que recordar que el presente estudio se realizó de junio y julio (final de primavera e inicio de verano), época considerada como no apropiada para reproducción en los ovinos de razas estacionales, como Dorset y Suffolk. El efecto de la época se reflejó de diferente forma en las tres razas evaluadas. En la raza Katahdin no pareció tener ningún efecto adverso; sin embargo, en Dorset el efecto de la época fue marcado, provocando una disminución de las características seminales (baja Conc, MM, MI y un incremento de las Anom). Por último, en Suffolk el efecto fue moderado, ya que las características seminales, aunque fueron bajas (intermedias) se consideran normales. Estos resultados indican de cierta forma que Dorset presenta mayor grado de estacionalidad que Suffolk y que Katahdin no es afectada. Es de esperarse que los parámetros seminales de Dorset (y también de Suffolk) mejoren hasta comenzar el otoño, época que se considera apropiada para la reproducción de los ovinos (Mandiki *et al.* 1998; Kafi *et al.* 2004; Gündogan 2007).

Conclusiones

Se encontró que los machos Dorset presentaron características seminales de menor calidad en comparación a los machos Katahdin y Suffolk en condiciones del altiplano mexicano.

Referencias

- Aké-López JR, Centurión-Castro FG, Alfaro-Gamboa M, Aké-Villanueva JR y Aké-Villanueva NY. 2013. Evaluación del semen. En: Sincronización del estro e inseminación artificial en ovinos. Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. pp. 41-52
- Berumen-Alatorre AC y Luna-Palomera C. 2011. Razas en el trópico. En: Berumen-Alatorre, A. C (Compiladora). Producción de Ovinos en el trópico: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. pp 19-23
- Boland MP, Al-Kamali AA, Crosby TF, Haynes NB, Howles CM, Kelleher DL y Gordon I. 1985. The influence of breed, season and photoperiod on semen characteristics, testicular size, libido and plasma hormone concentrations in rams. *Animal Reproduction Science*. 9(3):241-252
- Cárdenas-Gallegos MA, Aké-López JR, Centurión-Castro F y Magaña-Monforte JG. 2012. The breed and season effects on scrotal circumference and semen characteristics of hair sheep rams under tropical conditions. *Reproduction in Domestic Animals*. 47(6):e92-e94
- Gimenez D y Rodning S. 2007. Reproductive management of sheep and goats. Alabama Cooperative Extension System. (ANR-1316). Alabama A&M and Auburn Universities. pp 1-12
- Gündogan M. 2007. Seasonal variation in serum testosterone, T3 and andrological parameters of two Turkish sheep breeds. *Small Ruminant Research*. 67(2-3): 312-316
- Ibrahim SA. 1997. Seasonal variations in semen quality of local and crossbred rams raised in the United Arab Emirates. *Animal Reproduction Science*. 49 (2-3):161-167
- Kafi M, Safdarian M y Hashemi M. 2004. Seasonal variation in semen characteristics, scrotal circumference and libido of Persian Karakul rams. *Small Ruminant Research*. 53(1-2): 133-139
- Ley WB, Sprecher DJ, Lessard P, Thatcher CD, Pelzerl KD y Umberge SH. 1990. Scrotal circumference measurements in purebred Dorset, Hampshire and Suffolk lamb and yearling rams. *Theriogenology*. 34 (5): 913-925
- Mandiki SNM, Derycke G, Bister JL y Paquay R. 1998. Influence of season and age on sexual maturation parameters of Texel, Suffolk and Ile de France rams. 1. Testicular size, semen quality and reproductive capacity. *Small Ruminant Research*. 28(1): 67-79
- Statistical Analysis Systems (SAS) 2003. SAS User's Guide: Statistical Analysis Systems Institute Inc, Cary, North Carolina, USA.
- Valencia J, Barrón C y Fernández-Baca S. 1979. Variaciones estacionales del semen de carnero en México. *Veterinaria México*.10 (3): 151-156