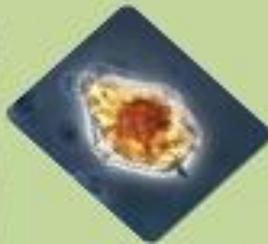
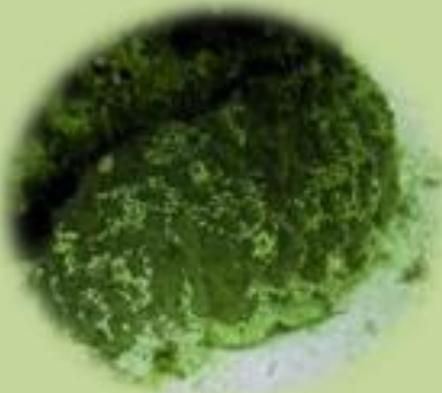




UADY
CAMPUS DE
CIENCIAS
BIOLÓGICAS Y
AGROPECUARIAS
"Luz, Ciencia y Verdad"
FACULTAD DE MEDICINA
VETERINARIA Y ZOOTECNIA

Bioagrociencias

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



Vol. 4 No. 2, julio-diciembre de 2011

ISSN – En trámite

Registro : 04-2011-092314190600-102

Revista de difusión científica

Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Universidad Autónoma de Yucatán



Comité editorial

Editor general

Virginia Meléndez Ramírez

Coeditor

Alfonso Aguilar Perera

Editores asociados:

Víctor Cobos Gasca

Luis López Burgos

Silvia Hernández Betancourt

Juan Magaña Monforte

Javier Quezada Euán

Luis Ramírez y Avilés

Juan Javier Ortiz Díaz

Directorio

Mphil. Alfredo Dájer Abimerhi

Rector

M. en C. Marco Torres León

Director

Dr. Jorge Santos Flores

Secretario Académico

M. en C. José Enrique Abreu Sierra

Secretario Administrativo

Dr. Hugo Delfín González

Jefe de la Unidad de Posgrado

Fotos de portada

<http://holayucatan.com.mx/index.php/2011/08/17/preparan-el-rescate-por-marea-roja-en-yucatan/>

<http://yucatanahora.com/noticias/viable-una-cuenca-lechera-yucatan-11536/>

http://www.mexplora.com/destinos_mexico/articulo_viaje.php?id=3580 Imagen Fuente: <http://bit.ly/GCF2xb>

<http://beauty-animal.blogspot.mx/2011/08/atlantic-sharpnose-shark.html>

<http://www.un.org/es/events/sustainableenergyforall/>

<http://www.ecointeligencia.com/2011/12/claves-cumbre-durban-cop17/>

<http://www.un.org/es/events/sustainableenergyforall/>

<http://www.ecointeligencia.com/2011/12/claves-cumbre-durban-cop17/>

<http://www.ecointeligencia.com/2011/12/claves-cumbre-durban-cop17/>

<http://www.ecointeligencia.com/2011/12/claves-cumbre-durban-cop17/>

Armado editorial de la publicación

M. en C. Marcos Barros Rodríguez

Posgrado Institucional

Bioagrocencias, Año 4, (julio a diciembre de 2011), 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.veterinaria.uady.mx/revis-tas/index.php>

Editor Responsable, Virginia Meléndez Ramírez, reserva del derecho al uso exclusivo 04-2011-092314190600- 102 ISSN: en trámite. Responsable de la última actualización, Carlos Canul Sansores con domicilio en Facultad de Medicina veterinaria y Zootecnia, km. 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil s7N, Mérida, Yucatán, México, tel. 999 942 32 00.

Fecha de última modificación; 30 junio 2011.

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:

bioagrocenciascoba@uady.mx

Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Universidad Autónoma de Yucatán

Estimados lectores, en este número podrán encontrar un ensayo, en la sección **Biodiversidad**, sobre el efecto de los plaguicidas en la fauna silvestre de la Península de Yucatán. Con base en varios estudios de la región se analiza el efecto del uso de plaguicidas y se enfatiza que la agricultura, aunque es una alternativa económica, puede tener riesgos generados por el uso de plaguicidas, ya que estos impactan al ambiente y pueden ocasionar alteraciones en la salud de las poblaciones o comunidades bióticas de los ecosistemas.

En esta ocasión, en la sección de **Medicina Veterinaria** se presenta un ensayo sobre la situación de la parasitosis producida por nemátodos gastrointestinales (NGI) en caprinos y los métodos usados para combatirla. Debido a la multi-resistencia antihelmíntica de los NGI, se explica la necesidad de utilizar los recursos naturales para su control en rebaños de caprinos. Los métodos alternativos de control de NGI presentan grandes ventajas debido a que en su mayoría son manejados por los productores y se reconoce que tanto los productores, técnicos y científicos deben trabajar, como equipo, con estos métodos.

En la sección de **Sistemas de Producción** se aborda un ensayo sobre la situación de la pesca del pepino de mar en Yucatán, se pone en perspectiva la importancia de este recurso pesquero y se analiza la problemática de su extracción y la reglamentación establecida. Se considera que el pepino de mar puede ser una pesquería alternativa de gran importancia que contribuirá sustancialmente al desarrollo económico y social de los pescadores, de la costa de Yucatán. En esta misma sección, se presenta la interacción entre el genotipo y el ambiente con relación a la producción de leche en caprinos. La producción de leche está influenciada por la composición genética de los animales (raza y cruza que la componen, y la variación genética que existe en estas), además de numerosos efectos ambientales (alimentación, clima, manejo, edad del rebaño, época de parto, etc.). Así, se destaca la importancia de considerar la interacción entre estos fac-

tores cuando se pretenda desarrollar un sistema de producción, principalmente en una región tropical.

La sección **Transferencia de Tecnología** documenta la importancia de las abejas reinas en las colmenas de *Apis mellifera* (abejas melíferas), en los sistemas apícolas de Yucatán. La tecnología como la inseminación instrumental en *A. mellifera* se emplea hace varios años y recientemente se ha introducido la crioconservación de semen como otra técnica, la viabilidad poscongelamiento del semen ha alcanzado un 68%, estableciendo precedentes, muy importantes, para futuras investigaciones que optimicen las técnicas de apoyo al mejoramiento genético en la actividad apícola.

En la sección **Tópicos de interés** se encuentra un ensayo sobre la situación problemática derivada de la marea roja, su nombre se debe a la coloración del agua producida por el crecimiento masivo de organismos fitoplanctónicos (dinoflagelados) durante ciertas épocas del año. En Yucatán, se desconoce aún cuáles son los mecanismos que desencadenan su aparición, aunque se conocen los efectos secundarios de la presencia de la marea roja como la mortalidad y desplazamientos de organismos de importancia comercial (peces, pulpo, langosta y pepino de mar). En esta misma sección, se aborda la necesidad de realizar estudios biológicos reproductivos en tiburones de la costa de Yucatán. El tiburón, como recurso pesquero, es utilizado íntegramente (carne, piel, aletas, hígado y aceite) y hasta ahora es difícil evaluar el impacto que se produce en las poblaciones ya que, no se conoce el efecto sobre los juveniles debido a las categorías que se han establecido en la pesquería de estos animales.

La sección **Sabes...** ilustra varios aspectos de los sorprendentes organismos bioluminiscentes, y finalmente en la sección **Próximos Eventos** se informa sobre algunas de las reuniones académicas, en el área de ciencias biológicas y agropecuarias, que se realizarán en el año 2012.

Biodiversidad

Ensayo: Los plaguicidas y su impacto sobre la fauna silvestre de la Península de Yucatán.4

Víctor M. Cobos Gasca, Roberto Barrientos Medina y Cintia Chi Novelo

Medicina Veterinaria

Ensayo: El control de nematodos gastrointestinales en caprinos: ¿dónde estamos?10

Armando J. Aguilar Caballero, Ramón Cámara Sarmiento, J. Felipe Torres Acosta y Carlos Sandoval Castro

Sistemas de producción

Ensayo: Aprovechamiento del pepino de mar: pesquería potencial para el desarrollo económico y social en la costa norte de la Península de Yucatán.17

Armin Tuz Sulub y Alfonso Aguilar Perera

Ensayo: Interacción genotipo x ambiente en cabras lecheras.23

Gonzalo Ortega García, Ismael Raz Caamal, Héctor Magaña Sevilla, Jorge Ortiz Ortiz, Ángel Sierra Vázquez, Fernando Centurión Castro y Rubén Montes Pérez

Transferencia de Tecnología

Ensayo: Las abejas reinas en los sistemas apícolas.28

Chavier De Araujo Freitas y José Javier Quezada Euán

- Índice -

Tópicos de Interés

Ensayo: La marea roja en la costa norte de la Península de Yucatán.32

Ileana Ortega Aznar, Alberto Rosado Espinosa, Andy Arjona Massa y Alfonso Aguilar Perera

Ensayo: Los tiburones en la costa norte de Yucatán: ¿poblaciones amenazadas por la sobrepesca?39

Silvia Hernández Betancourt, Francisco Serrano Flores, Lizbeth Chumba Segura, Celia I. Sélem Salas y Juan Chablé Santos

Sabes...

¿Por qué hay organismos que brillan en la oscuridad?: Bioluminiscencia en la naturaleza.43

Roberto C. Barrientos Medina

Próximos eventos

Eventos Académicos44

Víctor M. Cobos Gasca, Roberto Barrientos Medina y Cintia Chi Novelo

Cuerpo Académico de Ecología Tropical, Departamento de Ecología tropical, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias – UADY.

Introducción

A nivel mundial, el uso de plaguicidas en la agricultura es una práctica muy común. La naturaleza química de estas sustancias, sumada a su mal uso, trae como consecuencia la contaminación de los ecosistemas, daños a la fauna y flora, así como la contaminación de los alimentos que consume la humanidad. Los plaguicidas se mueven en el ambiente a través de los ciclos biogeoquímicos y pueden acumularse en los organismos (*bioacumulación*) y pasar a través de la cadena trófica (*biomagnificación*). De la misma forma, pueden almacenarse en el suelo o en el sedimento de lagos, ríos y cenotes para recircular en el ambiente después de que algún fenómeno natural los removió. Los daños que pueden ocasionar a los seres vivos van desde intoxicación hasta alteración del sistema inmunológico o el endocrino, desarrollar cáncer, reducir la reproducción y en último caso la muerte.

El uso de plaguicidas en la Península de Yucatán ha incrementado desde la reordenación henequenera y su uso se ha diversificado de acuerdo con la variedad de cultivos en la región. Por ejemplo, en el cultivo de papaya su uso es común (Fig.). Dentro de los plaguicidas se encuentra una marcada tendencia a utilizar los de tipo organofosforado que son muy tóxicos para aves, peces y mamíferos, aunque no se acumulan en el organismo. Por otra parte, el uso de productos organoclorados, principalmente el DDT, se ha usado para el control del mosquito transmisor del paludismo durante las campañas de salud, así como en la agricultura hasta su prohibición en 1991.

Los agricultores aplican sustancias agroquímicas de manera inadecuada. No utilizan equipo de protección, aplican dosis excesivas y desechan los envases en los campos de cultivo. Esta situa-

ción sumada a la naturaleza cárstica del suelo de la región (lo que permite que se infiltre rápidamente el agua de la lluvia al manto freático), así como las propias características químicas de cada plaguicida ocasiona la persistencia de plaguicidas en el ambiente ocasionando problemas de salud en la fauna de la región.

En este trabajo se presentan algunos estudios en la Península de Yucatán que evalúan los efectos de los pesticidas, así como su presencia y efectos en los seres vivos. De esta forma, se demuestra que dichos compuestos circulan en el ambiente y están alterando la salud de algunas especies que habitan en los ecosistemas de la región.



Figura 1. Uso de plaguicidas en el cultivo de papaya, Yucatán.

Intoxicaciones en aves expuestas a plaguicidas organofosforados

El diagnóstico de exposición a plaguicidas organofosforados (ej. malatión, paratión, etc.), mediante la determinación del nivel de colinesterasa plasmática, es un bioindicador de exposición muy sensible y es un método ampliamente utilizado para detectar intoxicaciones en fauna expuesta a estas sustancias (Fossi *et al.*, 1994). Los efectos en las aves, debido a una intoxicación por plaguicidas, son variados. Por ejemplo, los

polluelos son los más sensibles a las intoxicaciones, ya que estos poseen menores cantidades de colinesterasa por unidad de tejido cerebral. Los efectos en el comportamiento de las aves se han observado cuando la depresión de la colinesterasa cerebral alcanza el 50%. Por ejemplo, Friday *et al.* (1994) encontraron una reducción en el consumo de alimento y en el vuelo del estornino, *Sturnus vulgaris*, expuesto a clorfenvífos, e incluso a exposiciones leves de organofosforados. Además, se han observado cambios en la conducta de vuelo y postura. Otros estudios de aves han reportado salivación, fasciculación, letargia, anorexia, efectos reproductivos y la muerte (Grue *et al.*, 1981).

En Yucatán, se han realizado un par de estudios con relación a la intoxicación de las aves por plaguicidas organofosforados. Pérez-Cabrera (2003) comparó los niveles de actividad de la acetilcolinesterasa en aves en una unidad hortícola del municipio de Motul (expuestas a plaguicidas) con las capturadas en una zona libre de actividad agrícola (Reserva Ecológica Cuxtal, del Municipio de Mérida). Aunque no encontró diferencias significativas en la actividad enzimática de las aves en ambos sitios, sí determinó que al menos dos individuos (*Pitangus sulphuratus* y *Icterus gularis*) presentaron niveles de actividad indicativos de inhibición (42% y 68%, respectivamente).

En otro estudio, Cobos *et al.* (2006) evaluaron el efecto de los plaguicidas organofosforados en 42 individuos de *Turdus grayi* (zorzal pardo) en un cultivo de papaya en Yaaxhóm, Oxcutzcab, durante la época de secas (marzo y mayo) en 2004. En la misma época, se capturó un grupo de aves en Hunucmá, en un sitio donde no se utilizaron plaguicidas, para servir como grupo control. Se tomaron muestras de sangre, tanto al grupo control como las expuestas, mediante punción en la vena braquial (Fig. 2) y se determinó la actividad de la colinesterasa plasmática, de acuerdo a la técnica de Ellman, modificada por Hill y Fleming (1982). En la actividad de colinesterasa sérica, entre capturados en el área control, se detectaron diferencias



Figura 2. Toma de muestra de sangre en el zorzal pardo (*Turdus grayi*) para evaluar el efecto de la presencia de plaguicidas organofosforados

significativas. Además, la actividad enzimática fue mayor durante mayo que comparado a aquella en marzo; ambas fueron diferentes de la del grupo control, determinándose una inhibición del 49.33% (Fig. 3). Esto indica que el zorzal pardo está intoxicado por exposición a insecticidas organofosforados en los cultivos de papaya. Los efectos que dicha inhibición podrían ocasionarle a las aves mareos, dificultades para perchar y disminución del cuidado parental, por lo que estas aves pueden volverse presa fácil de sus depredadores.

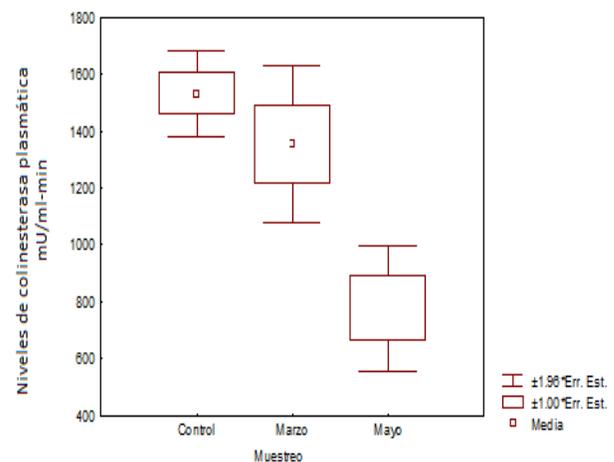


Figura 3. Niveles de colinesterasa plasmática (mU/ml-min) en el zorzal pardo (*Turdus grayi*) capturados en marzo y mayo de 2004, en comparación con el grupo control.

Presencia de residuos del plaguicidas organoclorados (DDT y DDE) en huevos de tortuga

La tortuga de carey (*Eretmochelys imbricata*) actualmente se encuentra protegida de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM- 059- ECOL /94). Presenta una dieta omnívora, por lo que puede ingerir alimento contaminado con DDT y bioacumularlo. Esta sustancia puede ser transferida por la madre hacia el huevo durante el proceso de gestación. Por ello, puede ser utilizado como un indicador de la contaminación ambiental y en las poblaciones de tortugas. De acuerdo a Blus (1982) y King (1989) la presencia de altas concentraciones de residuos de DDT en el huevo es un indicador de contaminación reciente, en tanto que mayores concentraciones de DDE indican una contaminación no reciente, efectuada de manera indirecta. El impacto de dicha contaminación es importante si se considera que arriban cinco especies de tortuga marina a la Península de Yucatán, de las cuales tres anidan en Campeche, la tortuga carey, la blanca y la lora.

En muestreos de huevos en siete campamentos tortugueros, Morales y Cobos (2005) analizaron residuos de DDT en la costa de Campeche durante julio 2000. El muestreo se llevó a cabo durante la temporada de anidación de la tortuga. Las muestras en cada campamento se tomaron al azar (tres nidos) y en estos se recolectaron de manera aleatoria dos huevos que no eclosionaron, obteniéndose 42 huevos en total (6 por cada campamento). Se hizo una extracción de la yema de huevo y se analizó mediante la técnica propuesta por Skaare (1991) mediante cromatografía de gases, para determinar la presencia de plaguicidas. Los resultados revelaron que de 21 nidos analizados 23.81% no revelaron residuos de DDT y DDE, mientras que 76.09% restante presentó residuos de uno de los dos compuestos o ambos contaminantes.

Cabe destacar que solo en el campamento de Isla Arena se detectaron residuos de DDT (0.408 µg/gr p.f.) solamente en uno de los huevos. En

algunas muestras no se registraron niveles detectables de DDT; esto podría deberse a la existencia de niveles muy bajos de este compuesto en los sitios de forrajeo durante la temporada de anidación de la tortuga o porque no hay aportes importantes de agua que drenen estas sustancias hacia la costa.

Los campamentos tortugueros donde se detectó una mayor concentración de DDT (Punta Xen y Ensenada Xpicop) (Tabla 1), están cerca de la desembocadura del río Champotón, el cual podría estar vertiendo al mar DDT aplicado en los poblados cercanos a dicho río.

Tabla 1. Concentraciones medias de DDT y DDE en los huevos de tortuga para cada uno de los tres nidos muestreados en cada campamento.

<i>Campamento</i>	Media DDT (µg/g p. f. ⁺)	Media DDE (µg/g p. f. ⁺)
Isla Aguada	0.0943	Nd*
	1.3255	5.8675
	Nd	3.0086
Chencan	0.8132	0.79975
	Nd	Nd
	0.3789	3.0194
Chencan	Nd	1.5412
	2.1347	2.0789
	0.5676	13.8631
	2.1679	Nd
	Nd	Nd
Isla Arena	0.4836	3.2211
	Nd	Nd
	0.408	Nd
Sabancuy	Nd	Nd
	0.8457	Nd
	0.2710	Nd
Sabancuy	Nd	3.7134
	Nd	Nd
	0.5367	1.4472
	0.5990	2.4997

p. f.⁺= peso fresco, Nd*= no detectado

Sin embargo, los niveles detectados de estos residuos pueden considerarse bajos comparados con los resultados de otros estudios obtenidos en diferentes especies de tortuga en sitios poco con-

taminados. Así, la ausencia de crías con malformaciones o huevos detenidos en alguna fase embrionaria, apoya la premisa que las concentraciones encontradas son pequeñas, insuficientes para causar algún efecto negativo

Alteraciones reproductivas por plaguicidas en peces de cenote

La presencia de plaguicidas orgánicos persistentes en el acuífero, entre los que se encuentran los organoclorados, puede causar alteraciones en la función reproductiva de especies endémicas acuáticas. Para evaluar este efecto, Chi et al. (2011) tomaron muestras en cada uno de los tres cuerpos de agua del anillo de “cenotes” de la península de Yucatán, ubicados en los municipios de Abalá, Celestún y Buctzotz (Fig. 4), durante la época de secas y lluvias y analizaron residuos de plaguicidas organoclorados.

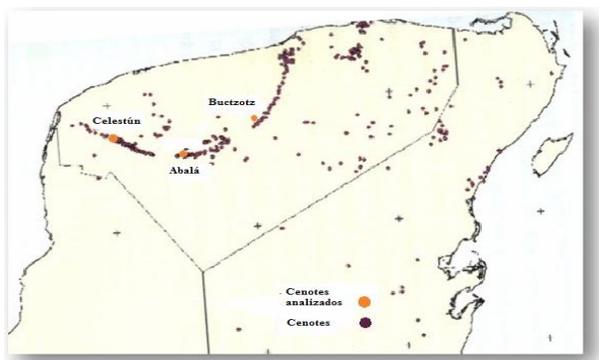


Figura 4. Sitios muestreados para recolectar pez mosquito en el anillo de cenotes de la Península de Yucatán.

Además, colectaron 20 individuos machos del pez mosquito (*Gambusia yucatanana*) (Fig. 5) en cada uno estos cuerpos de agua. A cada pez se les extrajeron las gónadas y se les determinó la concentración de vitelogenina (VTG) mediante el método del fosfato alcalino lábil (Gagné y Blaise, 2000). Dicha proteína es precursora en la formación de nutrientes para organismos ovíparos durante su fase de desarrollo temprano y es producida por hembras en la etapa reproductiva, pero en peces machos su expresión es mínima (Rendón, 2005).

En los niveles de vitelogenina, en los peces mosquito, entre los sitios muestreados en época

de secas no hubo diferencias significativas, es decir, no existe evidencia de alteraciones reproductivas en el metabolismo de los peces. Sin embargo, en la época de lluvias hubo un incremento de vitelogenina en los peces y hubo diferencias entre los peces de los cenotes Celestún y Buctzotz, e igualmente entre los de Celestún y los del grupo control (Fig. 2). Los peces tuvieron una gran cantidad de vitelogenina en el cenote de Celestún durante la época de lluvias (Fig. 6).



Figura 5. Pez mosquito (*Gambusia yucatanana*), capturado para evaluar la presencia de plaguicidas organoclorados en cenotes de Yucatán.

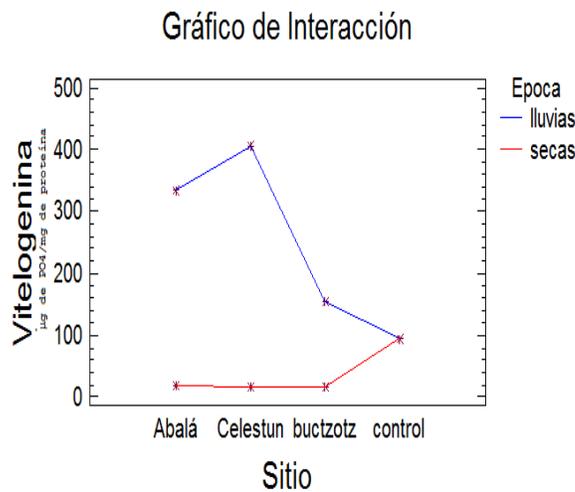


Figura 6. Niveles de vitelogenina en los peces mosquito entre los sitios muestreados por época en cenotes de Yucatán.

Los análisis de plaguicidas detectaron una variedad de organoclorados, de los cuales tres coinciden como disruptores endocrinos, p,p`DDT, Endosulfan y Heptacloro (Argemi et al., 2005). Los niveles altos de vitelogenina podrían estar ocasionando alteraciones en el sexo de los peces

machos ocasionando feminización, lo que traería como consecuencia efectos en su dinámica poblacional.

Actualmente, el uso de plaguicidas en la agricultura es una alternativa económica para el agricultor, pero los costos ambientales colaterales (contaminación y alteraciones en la salud de las especies, poblaciones o a la comunidad de un ecosistema) no son tomados en cuenta al momento de aplicarlos y se debiera proteger a las especies que habitan los sitios. Los problemas de intoxicación en las aves que forrajean en los cultivos, la presencia de residuos de DDT en el huevo de la tortuga de carey, y los efectos en el incremento de los niveles de vitelogenina en los peces mosquito ocasionados por la presencia de residuos de plaguicidas órganoclorados, son algunos ejemplos, de los pocos estudios que hay en la región, y de los efectos que los plaguicidas están ocasionando en la fauna. Por tanto, es muy importante que tanto los agricultores, así como las agencias gubernamentales encargadas de regular estas sustancias, estén más conscientes del daño que estas pueden ocasionar, no solo a la fauna sino también a las comunidades humanas.

Referencias

- Blus, L. J. 1982. Further interpretation of the relation of organochlorine residues in brown pelican eggs to reproductive success. *Environmental Pollution*, 28:15-33.
- Chi Novelo, C., Cobos, V., Barrientos, R., Navarro, J. y Rendón von Osten, J. 2011 Disrupción Endocrina en *Gambusia yucatanana* por Plaguicidas Orgánicos Persistentes en el Anillo de Cenotes. *Mesoamericana* 15 (2):255
- Cobos, V., Mora, M. y Escalona, G. 2006. Inhibición de colinesterasa plasmática en el zorzal pardo (*Turdus grayi*) expuesto al diazinón en cultivos de papaya maradol en Yucatán, México. *Revista de Toxicología* 23:17-21.
- Fossi M.C., Massi, A. y Leonzio, C. 1994. Blood esterase inhibition in birds as an index of organophosphorus contamination: field and laboratory studies. *Ecotoxicology* 3:11-20.
- Fryday S.L., Hart, A.D.M. y Dennis, N.J. 1994. Effects of exposure to an organophosphate on the seed-handling efficiency of the house sparrow. *Bull Environ Contam Toxicol.* 53:869-876.
- Grue C.E., Powell, G.V.N. y Gladson NL. 1981 Brain cholinesterase (ChE) activity in nesting starlings: implications for monitoring exposure of nesting songbirds to ChE inhibitors. *Bull Environ Contam Toxicol.* 26:544- 547.
- Ludke JL, Hill, E.F. y Dieter, M.P. 1975. Cholinesterase (ChE) response and related mortality among birds fed ChE inhibitors. *Arch Environ Contam Toxicol.* 3:1-21
- Hill E.F. y Fleming, W.J. 1982. Anticholinesterase poisoning of birds: field monitoring and diagnosis of acute poisoning. *Environ Toxicol Chem.* 1:27-38.
- Gagné, F. y Blaise, C. 2000. Organic alkali – labile phosphates in biological materials: A generic assay to detect vitellogenin in biological tissues. *Environmental Toxicology* 15: 243-247.
- King, F. A. 1988. Food habitat and organochlorine contaminant in the diet of alivacers cormorants in Galveston Bay, Texas. *Southwestern Naturalist*, 43:338-343.
- Morales-Rodríguez M. y Cobos-Gasca, V. 2005. DDT y derivados en huevos de la tortuga de Carey *Eretmochelys imbricata* (Linnaeus, 1766), en las costas del estado de Campeche, México, p. 237-248. *In:* A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*, 2da Edición. Univ. Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.
- Pérez-Cabrera, S.I. 2003. Comparación de los niveles de colinesterasa en aves paserines expuestas a plaguicidas organofosforados en la unidad hortícola Santa Cruz Pachón

de Motul con respecto a las de la reserva ecológica Cuxtal en Yucatán, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán. 49 p.

- Rendón, J. 2005. Uso de biomarcadores en ecosistemas acuáticos. En: Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz (Eds). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: diagnóstico y Tendencias, 2ª edición. UAC. Instituto Nacional de Ecología. p.121-140.
- Skaare, J.U., Ingebrigtsen, K., Aulie A. y Kanui, T.Y. 1991. Organochlorines in crocodile eggs from Kenya. Bulletin Environmental Contamination Toxicology, 47:126-130.

Armando J. Aguilar Caballero, Ramón Cámara Sarmiento, J. Felipe Torres Acosta y Carlos Sandoval Castro

Cuerpo Académico de Salud Animal, Departamento de Salud Animal, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias – UADY

Resumen

La producción de caprinos es una oportunidad para producir proteína de origen animal a bajo costo. La adaptación de las cabras a las regiones con climas extremos las pone en ventaja contra otros rumiantes. Sin embargo, los Nematodos Gastrointestinales (NGI) son los enemigos naturales a enfrentar. Es importante entender las relaciones entre estos parásitos, las cabras y el medio ambiente. De esta manera, el Médico veterinario Zootecnista podrá desarrollar estrategias de control que limiten los efectos negativos de los parásitos, mantengan la calidad e inocuidad de los alimentos generados y que contribuyan a mantener el ambiente. A nivel mundial, la multiresistencia antihelmíntica de los NGI en los rebaños caprinos afecta negativamente su rentabilidad. Ante este fenómeno, la investigación sobre los métodos alternativos de control de NGI ha sido incesante, y recientemente se han desarrollado nuevas estrategias para responder a esta problemática. Este documento presenta la situación de la parasitosis gastrointestinal en los caprinos, las medidas de control aplicadas, su situación actual y los métodos alternativos de control de NGI probados en caprinos que ya pueden ser transferidos al campo.

Introducción

La producción de pequeños rumiantes (PR) en los trópicos enfrenta dos problemas principales, la desnutrición y los nematodos gastrointestinales (NGI) (Torres-Acosta y Aguilar-Caballero, 2005). Esto es importante en los sistemas de producción basados en el pastoreo. Durante un ciclo anual los animales pastorean durante dos épocas: una época de seca (estiaje) y otra de lluvia. Durante la primera, la disponibilidad de nutrientes es escasa y predominan los alimentos lignificados, las ganancias diarias de peso (GDP) se reducen y en casos extremos algunos

animales fallecen. La época de lluvias se caracteriza por la alta disponibilidad de vegetación. Sin embargo, las condiciones climáticas son propicias para el desarrollo de larvas infectantes de NGI. Los NGI pueden reducir la GDP de un 30% a un 50% en los cabritos y un 20% la producción de leche, y son causa de hasta un 50% de la mortalidad de los cabritos en crecimiento (Torres-Acosta *et al.*, 2012). En las últimas tres décadas, el control de los NGI en los caprinos se basó en las drogas antihelmínticas. Sin embargo, su mal uso propició el desarrollo de cepas de NGI resistentes a estas drogas (Jabbar *et al.*, 2006). Hoy en día, se cuenta con una serie de métodos de control alternativo de los NGI que, en forma independiente, no resuelven el problema del parasitismo, pero combinados sus resultados son excelentes. Pero antes que nada, se tiene que reconocer que los caprinos no son ovinos, tampoco son vacas chicas; sino, una especie animal con características genéticas, fenotípicas y de comportamiento completamente diferentes (Hoste *et al.*, 2010). Por lo tanto, las estrategias de manejo alimenticio, reproductivo, de salud e infraestructura deben ser acordes a estos. Este documento presenta la situación de la parasitosis gastrointestinal en los caprinos, las medidas de control aplicadas, su situación actual y los métodos alternativos de control de NGI probados en Caprinos que ya pueden ser transferidos al campo.

Los caprinos

Las cabras son rumiantes (Fig. 1), sin embargo, sus hábitos alimenticios son diferentes a los de las ovejas y bovinos. Las cabras ramonean en un 80% y pastorean en un 20% de su tiempo de alimentación, las ovejas hacen todo lo contrario. Este comportamiento se asocia a las diferencias en la habilidad de los caprinos para enfrentar a sus parásitos.

Aunado a las diferencias fisiológicas en las cabras, las estrategias para el control de los NGI en esta especie requieren de consideraciones específicas (Hoste *et al.*, 2010).



Figura 1. Rebaño de cabras criollas del trópico

Los parásitos gastrointestinales (NGI) en los caprinos

Los nematodos gastrointestinales han sido considerados como los enemigos a vencer en la producción de rumiantes en pastoreo. Actualmente, se ha reflexionado sobre el papel real de los NGI. Estos forman parte de los mecanismos de la selección natural para regular las poblaciones animales en los ecosistemas. Los humanos, para incrementar la producción animal, han concentrado a un gran número de animales en el menor espacio posible. Como consecuencia, los NGI tratan de regular este crecimiento anormal y propician los brotes mortales en el rebaño. Los principales NGI que afectan a los caprinos se muestran en la Tabla 1. Estos se distribuyen a lo largo del tracto gastrointestinal pero presentan afinidad a una sección en particular donde desarrolla un cuadro patológico particular. Esta condición permite diagnosticar la presencia del agente etiológico y proponer las medidas para el control sustentable.

Ciclo biológico

Los NGI también pasan por etapas fisiológicas desde huevos hasta adultos; cuando producen huevos e infectan a nuevos animales o reinfectan a su hospedador y es de la siguiente manera (Aguilar-Caballero *et al.*, 2009). La transmisión

es por vía oral, infectándose los animales al ingerir el tercer estadio de los parásitos. El ciclo evolutivo es directo, con dos fases: una exógena y una endógena. En la fase exógena, los huevos de los nematodos salen junto con las heces del animal al ambiente y, dependiendo de una óptima temperatura (28°C) y humedad relativa (80%), eclosiona la larva uno (L₁) entre 24 y 30 hrs, para posteriormente evolucionar a larva 2 (L₂) en aproximadamente 2 o 3 días; éstas sufren una segunda muda para transformarse en larva 3 (L₃) o estadio infectante en 4 a 7 días, según las condiciones ambientales.

Las larvas infectantes se desarrollan óptimamente a temperaturas de alrededor de 22 a 26°C, suspendiendo su evolución a menos de 9°C. La larva L₃ es activa y sube a los tallos y hojas de los pastos que sirven como alimento a los rumiantes, para de ese modo infectarlos. En la fase endógena, la larva infectante muda en el rumen, al haber un incremento del pH ruminal, ocasionado por la secreción de la enzima leucinoamino-peptidasa a través de las células neurosecretoras de la larva. La larva penetra al abomaso entre los 10 y 20 min después de haber sido ingerida en donde se transforma en larva cuatro (L₄) en uno o dos días y penetra a las criptas de las glándulas gástricas donde permanece de 10 a 14 días. Durante este proceso puede inhibir temporalmente su desarrollo debido a condiciones fisiológicas adversas y permanecer como larva hipobiótica capaz de persistir en el abomaso del huésped durante periodos de adversidad climática como frío excesivo o periodo de secas. Posteriormente, las

L₄ dejan la mucosa y se alojan en el lumen abomasal para transformarse en larva 5 (L₅) y después en parásitos adultos, machos y hembras. Las hembras parásitas comienzan a depositar huevos entre los 21 y 28 días post infección.

Signos clínicos

Los signos clínicos de las infecciones mixtas por NGI son muy comunes en los caprinos y dependen de varios factores como el número de parásitos presentes, la especie de NGI involucra-

dos, el estado nutricional y la edad del hospedero (Fig. 2).

Tabla 1. Géneros y especies de nematodos gastrointestinales que afectan a los Caprinos.

Órgano digestivo	Género	Especie
Abomaso	<i>Haemonchus</i>	<i>contortus</i>
	<i>Teladorsagia</i> (<i>Ostertagia</i>)	<i>circumcincta</i>
	<i>Trichostrongylus</i>	<i>axei</i>
Intestino delgado	<i>Cooperia</i>	<i>curticei</i>
	<i>Trichostrongylus</i>	<i>colubriformis,</i> <i>vitrinus</i>
	<i>Nematodirus</i>	<i>filicollis,</i> <i>spathiger</i>
	<i>Bunostomum</i> <i>Strongyloides</i>	<i>trigoncephalum,</i> <i>papillosus</i>
	<i>Oesophagostomum</i>	<i>columbianum,</i> <i>globulosa</i>
Intestino grueso	<i>Trichuris</i>	<i>ovis</i>

Los cabritos en pastoreo son los más susceptibles a la infección por NGI, sobre todo los recién destetados (Torres-Acosta y Aguilar-Caballero, 2005). Los signos clínicos aparente a las nematodiasis gastrointestinales en los pequeños rumiantes son la anemia, disminución en la ganancia de peso, mucosas y conjuntivas pálidas, disminución el apetito, un cuadro de desnutrición variable.

El primer tipo de presentación es la infección sobregada, donde se encuentran animales muertos repentinamente sin signo premonitorio alguno (en caso de hemoncosis). La infección aguda es la forma más común en los animales jóvenes. En esta se observan signos como: anemia grave con hematocrito (Ht) de menos de 12, edema submandibular secundario a hipoproteïnemia. La albúmina sérica es menor a 2.5 g/dl. La diarrea puede ocasionalmente formar parte de la sintomatología, cuando se involucra *T. colubriformis*. Los caprinos infectados tienen crecimiento pobre, pelo hirsuto, muestran debilidad y bajo consumo de alimento. Los animales recuperados quedan generalmente subdesarrolla-

dos. La mayoría de las veces, los animales adultos presentan una enfermedad de tipo subclínico, trayendo como consecuencia grandes pérdidas económicas a largo plazo. En estos animales los casos son generalmente crónicos, donde hay una pérdida de condición corporal, los animales se encuentran letárgicos con pérdidas de peso inadvertidas, descenso del Ht (con valores de un 15 al 25%), el edema facial puede o no estar presente, se puede presentar diarrea intermitente, emaciación e inapetencia. En ocasiones, ocurre la muerte de los animales. La enfermedad se produce por infección crónica de un número notablemente bajo de NGI.



Figura 2. Signo clínico patognomónico (edema submandibular) de la nematodiasis gastrointestinales en pequeño rumiante.

En esta se observan signos como: anemia grave con hematocrito (Ht) de menos de 12, edema submandibular secundario a hipoproteïnemia. La albúmina sérica es menor a 2.5 g/dl. La diarrea puede ocasionalmente formar parte de la sintomatología, cuando se involucra *T. colubriformis*. Los caprinos infectados tienen crecimiento pobre, pelo hirsuto, muestran debilidad y bajo consumo de alimento. Los animales recuperados quedan generalmente subdesarrollados. La mayoría de las veces, los animales adultos presentan una enfermedad de tipo subclínico, trayendo como consecuencia grandes pérdidas económicas a largo plazo.

En estos animales los casos son generalmente crónicos, donde hay una pérdida de condición corporal, los animales se encuentran letárgicos

con pérdidas de peso inadvertidas, descenso del Ht (con valores de un 15 al 25%), el edema facial puede o no estar presente, se puede presentar diarrea intermitente, emaciación e inapetencia. En ocasiones, ocurre la muerte de los animales. La enfermedad se produce por infección crónica de un número notablemente bajo de NGI.

Control de los nematodos gastrointestinales

Los caprinos cuentan con dos mecanismos naturales para enfrentar a los NGI: La resiliencia y la resistencia (Aguilar-Caballero y Torres-Acosta, 2006).

¿Qué es la resiliencia?

La resiliencia es la capacidad de los caprinos de soportar los efectos patogénicos derivados del parasitismo y mantenerse con niveles aceptables de producción.

¿Qué es la resistencia?

La resistencia es la capacidad de los caprinos para controlar o eliminar a las larvas y parásitos adultos del tracto gastrointestinal. El control de los NGI puede ser mediante sustancias químicas convencionales de tres tipos (bencimidazoles, Imidazothiasoles, Lactonas macrocíclicas) contra las cuales existen ya cepas de NGI resistentes a sus efectos (Jabbar *et al.*, 2006). Las dosis para las diferentes sustancias en caprinos pueden consultarse en Torres-Acosta y Aguilar-Caballero (2005).

Recientemente, se puso en el mercado una nueva sustancia “MONEN-PANTEL”. Sin embargo, solo está disponible en Australia y Nueva Zelanda. La situación de la resistencia antihelmíntica de los rebaños ovinos y caprinos en Yucatán han sido ya analizada (Torres-

Acosta *et al.*, 2005; Aguilar-Caballero *et al.*, 2009).

Métodos alternativos de control de NGI

Debido al problema derivado de NGI para el caprino y su resistencia por un mal manejo de los tratamientos con antihelmínticos, actualmente se están buscando métodos alternativos de control, diferentes al uso de sustancias químicas (Fig.3). Existen diversos métodos de control, o medidas preventivas, de las parasitosis por NGI que pueden ser utilizadas para reducir eficazmente las cargas parasitarias a niveles aceptables para el potencial zootécnico de los animales. Dentro de las medidas antiparasitarias se encuentran las que se describen a continuación

Agujas de óxido de cobre (AOC)

Son administradas vía oral en cápsulas de gelatina y llegan hasta el abomaso, donde los filamentos de cobre son liberados y quedan atrapados en los pliegues de este órgano digestivo. Las AOCs se oxidan liberando iones de cobre que provocan la muerte y expulsión de los parásitos del abomaso. Las AOCs presentan una elevada eficacia contra *H. contortus* y una persistencia superior al 46%, 35 días después de su dosificación. A pesar de su utilidad en ovinos y caprinos, muestran el riesgo derivado del cobre acumulado en el hígado de los animales tratados. Por tal motivo, se sugiere tratar la Hemoncosis en el primer año de vida de las corderas o cabritas (con dos dosis espaciadas cada 60 días).

Posterior a esta edad, no se recomienda usar AOC para que el cobre se reduzca gradualmente del hígado al siguiente año. Las AOC reducen las cargas de *H. contortus* entre 75 y 90% y reducen la cantidad de parásitos, pero no necesariamente mejoran la ganancia de peso de



Figura 3. Métodos alternativos (agujas de óxidos de cobre, hongos hematófagos, metabolitos secundarios en plantas, manejo de praderas y suplementación alimenticia) para control de infecciones por NGI en pequeños rumiantes.

los animales. La dosis de una capsula de dos gramos es recomendable cuando inicia el periodo infectivo de la pradera; se puede repetir 60 días después. Es importante explotar la capacidad inmunitaria del animal para el control de los NGI (Galindo-Barboza *et al.*, 2011).

Hongos nematófagos

Estos hongos son considerados como los enemigos naturales principales de los nematodos. En sí, son organismos del suelo que poseen la capacidad de transformar sus micelios en trampas especializadas para capturar y destruir nematodos, ya sea en el suelo o en las heces de los animales. Las clamidosporas de los hongos nematófagos son ofrecidas oralmente a los animales, como parte de su dieta, para llegar al tracto gastrointestinal sin ser dañadas. Una vez que las heces se depositan en el exterior se estimula la germinación y desarrollo del hongo por contacto con las fases larvianas de nematodos. En condiciones de campo se ha probado que la inoculación de *D. fragrans* reduce significativamente la infección de las praderas con NGI, donde se observa adicionalmente una mayor ganancia de peso en ovinos en pastoreo. Las dosis van de 1 a 100 millones de clamidosporas (Torres-Acosta y Hoste, 2008). Recientemente se probó el uso de galletas de avena como vehículo para la administración de los hongos de *D. fragrans*, sin embargo, aun hacen falta pruebas de campo.

Taninos condensados (TC)

Los TC han probado ser eficaces como sustancias antihelmínticas. Un extracto de 5-6% redujo la prolificidad de las hembras parasitas y redujo el establecimiento de larvas y la población de parásitos adultos. Parece tener mayor eficacia contra *T. colubriformis* comparado con otros NGI abomasales. En Yucatán, se han identificado plantas (*Lisiloma latisiliquum*, *Havardia albican*) ricas en taninos que afectan las fases adultas y larvianas de *H. contortus*, ya que reducen la longitud y la prolificidad del parásito. Las evidencias, hasta este momento, indican que 500 g de esas plantas reducen la carga parasitaria de

los caprinos (Torres-Acosta *et al.*, 2012).

Manejo del pastoreo: pastoreo alterno y rotación de praderas

El manejo del pastoreo puede ser usado para controlar la infección por NGI al reducir la cantidad de larvas disponibles para ser consumidas por los animales (Fig.3). Las técnicas de pastoreo se agrupan en técnicas preventivas, de evasión y de dilución. El pastoreo rotacional es una técnica de evasión donde los animales se mueven antes de que se enfrenten a altas cargas de larvas L₃ en la pastura. Un estudio realizado en Yucatán, en época de lluvias, demostró una reducción casi total del riesgo de infección en corderos de pelo en crecimiento bajo un esquema de 3 días de pastoreo por 30 de descanso con una carga animal de 40 animales por hectárea. En regiones de clima templado, el desarrollo y la sobrevivencia de las larvas L₃ puede ser considerablemente mayor. En estas condiciones, es mejor utilizar el pastoreo alternado donde primero se introducen en la pradera animales de mayor resistencia capaces de consumir mayor cantidad de larvas infectantes y que no tengan signos de enfermedad y puedan eliminar bajas cantidades de huevos de nematodos en sus heces. Posteriormente, cuando la infección de la pradera es menor, se introducen animales más susceptibles (Torres-Acosta y Hoste, 2008).

Selección Genética

La selección de los animales resistentes a las infecciones con NGI es medida a través de la cuenta de huevos por gramo de heces (HPG). Los animales resistentes no son completamente refractarios a la enfermedad, solo albergan menos parásitos que los animales susceptibles y por lo tanto eliminan menos huevos en las heces. Se ha demostrado que algunas razas caprinas son más resistentes que otras a los NGI.

Existe una variabilidad genética individual lo que ha obligado a la selección de aquellos animales con una reducida eliminación de huevos en las heces. Dicha variabilidad probablemente está basada en la capacidad individual

de un animal para responder inmunológicamente contra los parásitos y es una característica altamente heredable.

Existen dos formas de evaluar la resistencia genética a los NGI, la primera y más común es medir la reducción en la eliminación de huevos en las heces, ya que existe una alta correlación entre esta medición con la carga parasitaria en el animal. La segunda y más confiable para conocer el efecto racial sobre la resistencia a los NGI en los ovinos, es conocer la cantidad de parásitos (larvas y adultos) presentes en el tracto gastrointestinal de los animales. La selección se ha basado en la retención de caprinos con las menores cuentas de HPG, la mejor resiliencia o resistencia. Sin embargo, en ovejas se ha probado que cuando se estresan se vuelven susceptibles de nuevo a las infecciones con *H. contortus* (Hoste *et al.*, 2008; Hoste *et al.*, 2010).

Uso de suplemento para el control de los NGI

La suplementación con proteína dietética mejora la resistencia contra infecciones de NGI tanto en ovinos como en caprinos. Se reporta que los animales suplementados reducen sus cargas de huevos por gramo de heces e incrementan su cuenta de eosinófilos periféricos. Animales suplementados con maíz tienen menor cantidad de *H. contortus* que los no suplementados, y la suplementación con maíz-soya ocasiona una mayor cantidad de larvas hipobióticas de *T. colubriformis* y *O. columbianum*. Ambas estrategias disminuyen la cantidad de hembras por cada macho de *H. contortus* y reducen la cantidad de huevos *in utero* de las hembras de los NGI. Las fuentes de energía, como el maíz y la melaza, han demostrado su eficacia para el control de los NGI. Recientemente, se demostró que la suplementación con maíz al 1% del peso vivo de los animales en pastoreo presentó la mejor respuesta para el control de los NGI a través de la inmunidad celular (eosinófilos y mastocitos celulares), manteniendo valores de crecimiento de acuerdo a los nutrientes ofrecidos. La propuesta actual es ofrecer a los animales maíz (base fresca) al 1% de su peso vivo (Torres-Acosta *et al.*, 2012).

Inmunización

En el caso de *H. contortus*, el uso de larvas irradiadas parecía ser una buena alternativa y en 1987 se produjo una vacuna llamada "Contortin". Sin embargo, por el costo, su eficiencia y el material necesario para su elaboración, se cuestiona su aplicación. Hoy en día, el uso de antígenos excretorios/secretorios y somáticos de este parásito parece ser una buena alternativa. Sin embargo, su eficacia solamente ha sido probada sobre la excreción de HPG y la respuesta inmune humoral y celular, ha tenido resultados variados. El uso de larvas L₃ y parásitos adultos es todavía un método utilizado. Los resultados muestran una reducción de 50 a 70% en la excreción de HPG y una reducción en la carga parasitaria adulta; para mejorar la inmunidad se necesita una segunda dosis de infección. Se ha probado que las infecciones naturales que son detenidas con tratamientos antihelmínticos permiten a los corderos desarrollar inmunidad contra los NGI. En este sentido se observan reducciones en la cuenta de HPG (50%) (Aguilar-Caballero *et al.*, 2008; Hoste *et al.*, 2008).

Conclusiones

Ante la resistencia antihelmíntica es necesario aprender a utilizar los recursos naturales para el control de los NGI en los rebaños caprinos. Los métodos alternativos de control de NGI presentan grandes ventajas, ya que en su mayoría son manejados por los productores pero desconocían cómo funcionaban para el control de los NGI. Esta tarea es un compromiso que los productores, técnicos y científicos deben enfrentar como equipo.

Referencias

Aguilar-Caballero, A.J., Torres-Acosta, J.F.J., Cámara-Sarmiento, R., Hoste, H., Sandoval-Castro, C. 2008. Inmunidad contra los nematodos gastrointestinales: la historiacaprina. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 9: 73-82

- Aguilar-Caballero, A.J., Torres-Acosta, J.F.J., Cámara-Sarmiento, R. 2009. Importancia de parasitismo gastrointestinal en ovinos y situación actual de la resistencia antihelmíntica en México. In: Avances en el control de la parasitosis gastrointestinal de ovinos en el trópico. Gonzalez Garduño R. y Berumen Alaforte A.C. UACH-U.R.U.S.E. Tabasco, México. ISBN: 978-607-12-0089-1. pp. 1-11.
- Galindo-Barboza, A.J., Aguilar-Caballero, A.J., Cámara-Sarmiento, R., Sandoval Castro, C.A., Ojeda-Robertos, N.F., Reyes-Ramírez, R., España-España, E., Torres Acosta, J.F.J. 2011. Persistence of the efficacy of copper oxide wire particles against *Haemonchus contortus* in sheep. *Veterinary Parasitology*. 176: 261-267
- Hoste, H, Torres-Acosta JFJ, Aguilar-Caballero A.J. 2008. Nutrition-parasite interactions in goats: is immunoregulation involved in the control of gastrointestinal nematodes?. *Parasite Immunology*. 30: 79-88.
- Hoste, H., Sotiraki, S., Landau, S.Y., Jackson, F., Beveridge, I. 2010. Goat-Nematode interactions: think differently. *Trends in Parasitology*. 26: 376-381.
- Jabbar Abdul, Iqbal Zafar, Kerboeuf Dominique, Muhammad Ghulam, Muhammad N. Khan y Afaq Musarrat. (2006). Anthelmintic resistance: The state of play revisited. *Life Sciences* 79: 2413-2431
- Torres-Acosta, JFJ; Aguilar-Caballero, AJ; Le Bigot, C; Hoste, H; Canul-Ku, H.L., Santos-Ricalde, R., Gutiérrez-Segura, I. 2005. Comparing different formulas to test for gastrointestinal nematode resistance to benzimidazoles in smallholder goat farms in Mexico. *Veterinary parasitology*. 134: 241-248.
- Torres-Acosta, J.F.J., Aguilar-Caballero, A.J. 2005. "Epidemiología, prevención y control de nematodos gastrointestinales en rumiantes". En: Rodríguez-Vivas, R.I., Enfermedades de importancia económica en los animales domésticos. McGraw-Hill. México. pp. 145-167
- Torres-Acosta, J.F.J y Hoste, H. 2008. Alternative or improved methods to limit gastro-intestinal parasitism in grazing sheep and goats. *Small Rumin. Res.* 77: 159-173.
- Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A., Hoste, H., Aguilar-Caballero, A.J., Cámara-Sarmiento, R. y Alonso-Díaz, M.A. 2012. Nutritional manipulation of sheep and goats for the control of gastrointestinal nematodes under hot humid and subhumid tropical conditions. *Small Ruminant Research*. 103: 28-40.

Aprovechamiento del pepino de mar: pesquería potencial para el desarrollo económico y social en la costa norte de la Península de Yucatán

Armin Tuz Sulub y Alfonso Aguilar Perera

Cuerpo Académico de Recursos Marinos Tropicales, Departamento de Biología Marina, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias – UADY

Introducción

La pesca, cuyo valor económico, social y alimentario es sustancial, forma parte de una cadena productiva que genera empleos directos e indirectos, valor agregado, divisas, materia prima para otras industrias y es parte de la seguridad alimentaria y bienestar social. A nivel internacional y desde hace algunos años, los científicos pesqueros incorporaron el concepto de enfoque precautorio que destaca el papel de la ciencia como elemento fundamental para el aprovechamiento de los recursos naturales bajo la premisa de un aprovechamiento económicamente óptimo, biológicamente sustentable y socialmente aceptado (Cooney, 2004; INP, 2005). Tal premisa debe ser considerada hoy en día en la apertura de nuevas pesquerías y ser considerada prioritaria en su desarrollo. El aprovechamiento pesquero del pepino de mar en Yucatán inició hace diez años y apenas se encuentra en una fase de conocimiento básico y de fomento. Se necesita aún información técnica y científica de sus principales aspectos biológico-pesqueros para lograr el ordenamiento de su pesquería sustentable dentro de un enfoque racional y precautorio. El pepino de mar podría ser una pesquería alterna de gran importancia que contribuya sustancialmente al desarrollo económico y social de los pescadores de la costa de Yucatán. Tal contribución radica en su gran valor económico en

el mercado internacional, cotizándose entre 85 y 120 dólares el kilo de pepino deshidratado (Fig.1).

Biología y ecología del pepino de mar

Los holotúridos, comúnmente llamados pepinos o cohombres de mar, son organismos marinos pertenecientes a una de las cinco clases de equinodermos (estrellas, ofiúridos, erizos y lirios de mar). Mundialmente, están compuestos por 1,500 especies distribuidas en seis órdenes y 25 familias. Este grupo de animales posee una estructura corporal de simetría bilateral, con carácter elástico y de aspecto verrugoso. Entre sus principales características sobresale la presencia de estructuras óseas únicas llamadas osículos que se distribuyen en el sistema tegumentario, sin llegar a formar espinas externas, espículas o estructuras calcáreas como en las demás familias de los equinodermos. La talla máxima alcanzada, en algunas especies, varía de unos cuantos centímetros hasta poco más del metro y medio de longitud. Al igual que otros equinodermos, los pepinos de mar poseen pies tubulares, especialmente en su cara ventral plana, que utilizan para realizar las lentas contracciones, similares a las de las orugas, con las que se mueven (Humman 1999; FAO 2004; Conand 2005). Los pepinos de mar tienen la función ecológica de



Figura 1. Aprovechamiento pesquero del recurso pepino de mar por pescadores de la costa norte de la Península de Yucatán.

procesar el sustrato béntico marino y de asimilar los microorganismos asociados tanto al material orgánico como al inorgánico presente en el sedimento.

Además, filtran los sedimentos oceánicos y devuelven nutrientes a los procesos de la red alimentaria; revuelven de igual manera las capas superiores de sedimento en las lagunas, los arrecifes y otros ecosistemas donde habitan, facilitando con ello la penetración de oxígeno. Los holotúridos también pueden ingerir micro invertebrados de la fauna intersticial, los cuales son una fuente importante de alimento disponible. Los paquetes fecales producidos por los pepinos de mar se convierten en puntos enriquecidos con alta concentración de nutrientes disponibles a otros organismos de la cadena trófica. Los pepinos de mar adultos tienen pocos predadores entre ellos algunas estrellas de mar y determinados peces y crustáceos. Las larvas y los ejemplares jóvenes son depredados por algunas especies de peces como los de las familias Balistidae y Labridae (Francour, 1998; Dance *et al.*, 2003).

Comercio y especies objetivo

La alta demanda comercial de pepino de mar radica principalmente en el aprovechamiento de su músculo como fuente de proteína. Los principales mercados son asiáticos; entre ellos destacan Hong Kong, Singapur y China Taipéi (Bruckner, 2005). Su consumo está muy vinculado a la medicina tradicional; además, es considerado “manjar exquisito” y afrodisíaco. Así, este mercado internacional acapara la producción de los océanos Índico y Pacífico donde aproximadamente unas treinta especies son aprovechadas y reciben el nombre comercial de *bêche-de-mer* o *tre pang*. A través de un proceso de cocción, ahumado y secado, son utilizados en la elaboración de sopas y guisados.

En México, aun no se tiene una cultura para su consumo; sin embargo, al tener alta demanda en países asiáticos, es un recurso potencial para exportación. Durante los últimos años, Yucatán y Campeche han demostrado interés por su

comercio, por lo que en 2006 la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), a través de la Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura (CONAPESCA), expidió seis permisos de pesca de fomento para el pepino café (*Isostichopus badiotus*), el pepino blanco (*Astichopus multifidus*) y el pepino negro (*Holothuria floridana*) (Fig. 2).

El pepino café (*I. badiotus*) está ampliamente distribuido en el golfo de México y Mar Caribe, y es un componente elemental en la cadena alimentaria de los ecosistemas marinos. Se asocia a hábitats bentónicos, frecuenta los sedimentos arenosos pero también se encuentra en superficies duras, como lajas, restos de coral muerto y ambientes con cobertura algal. Son organismos con movilidad lenta y por lo general permanecen en una misma área durante toda su vida adulta. Alcanza gran tamaño (más de 40 cm de longitud) y presenta dos patrones de color, el más común es un café oscuro sólido y menos común es café claro con café oscuro y puntos o manchas negras (Hammond, 1982; Humman, 1999).

El pepino blanco (*A. multifidus*) alcanza tallas mayores a 50 cm de longitud. Comúnmente, presenta un patrón de coloración blanca con matices verdosos o de color gris. Tiene la piel cubierta de pequeñas protuberancias laxas a manera de pequeñas espinas. Habita áreas con sedimentos arenosos o limosos y sobre formaciones bentónicas con alta cobertura de macroalgas. El pepino blanco presenta sus mayores periodos de actividad durante el día. Se distribuye entre los 10 y 30 m de profundidad en todo el Caribe (Hammond, 1982; Humman, 1999).

El pepino negro (*H. floridana*) habita aguas más someras de las costas de la península de Yucatán.

Se le puede encontrar con frecuencia en el interior de lagunas costeras y en la ría de San Felipe hasta Ría Lagartos, Yucatán, donde son muy abundantes. Habita fondos lodosos, arenosos, duros, de conchuela y con vegetación variable. Durante el día permanece oculto, al oscurecer



Figura 2. Principales especies comerciales de pepino de mar en la costa de Yucatán.

salen a comer y se ven grandes cantidades de ellos (Hammond, 1982; Humman, 1999).

La pesca de pepino de mar se realiza preferentemente a través de la recolección, es decir, los pescadores bucean los fondos y recogen los pepinos de mar. Un pescador puede capturar alrededor de 60 kg de pepino negro (*H. floridana*) y blanco (*A. multifidus*) entre dos y cuatro horas en áreas poco profundas. Para el pepino café (*I. badionotus*), un par de buzos pueden capturar entre 200 y 500 kg entre 3 a 5 hrs efectivas de pesca (De Anda *et al.*, 2006).

El pepino café (*I. badionotus*) está ampliamente distribuido en el golfo de México y Mar Caribe, y es un componente elemental en la cadena alimentaria del los ecosistemas marinos. Se asocia a hábitats bentónicos, frecuenta los sedimentos arenosos pero también se encuentra en superficies duras, como lajas, restos de coral muerto y ambientes con cobertura algal. Son organismos con movilidad lenta y por lo general permanecen en una misma área durante toda su vida adulta.

Alcanza gran tamaño (más de 40 cm de longitud) y presenta dos patrones de color, el más común es un café oscuro solidó y menos común es café claro con café oscuro y puntos o manchas negras (Hammond, 1982; Humman, 1999).

El pepino blanco (*A. multifidus*) alcanza tallas mayores a 50 cm de longitud. Comúnmente, presenta un patrón de coloración blanca con matices verdosos o de color gris. Tiene la piel cubi-

erta de pequeñas protuberancias laxas a manera de pequeñas espinas. Habita áreas con sedimentos arenosos o limosos y sobre formaciones bentónicas con alta cobertura de macroalgas. El pepino blanco presenta sus mayores periodos de actividad durante el día. Se distribuye entre los 10 y 30 m de profundidad en todo el Caribe (Hammond, 1982; Humman, 1999).

El pepino negro (*H. floridana*) habita aguas más someras de las costas de la península de Yucatán. Se le puede encontrar con frecuencia en el interior de lagunas costeras y en la ría de San Felipe hasta Ría Lagartos, Yucatán, donde son muy abundantes. Habita fondos lodosos, arenosos, duros, de conchuela y con vegetación variable. Durante el día permanece oculto, al oscurecer salen a comer y se ven grandes cantidades de ellos (Hammond, 1982; Humman, 1999).

La pesca de pepino de mar se realiza preferentemente a través de la recolección, es decir, los pescadores bucean los fondos y recogen los pepinos de mar. Un pescador puede capturar alrededor de 60 kg de pepino negro (*H. floridana*) y blanco (*A. multifidus*) entre dos y cuatro horas en áreas poco profundas. Para el pepino café (*I. badionotus*), un par de buzos pueden capturar entre 200 y 500 kg entre 3 a 5 hrs efectivas de pesca (De Anda *et al.*, 2006)

Importancia del Pepino de Mar en México

En Asia, la pesquería del pepino de mar comen-

zó hace más de mil años. En el siglo XIX, la pesquería se expandió y China ha sido el principal importador mundial. En el siglo XX, se abrieron al comercio internacional los mercados de Japón, Corea, Singapur y Taiwán (Conan y Byr-ne, 1993). Aunque son una diez las especies de pepino que se comercializan a nivel internacional, en las estadísticas de 2004 de la Organización para la Agricultura y Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) se agrupa a todas éstas junto con otros equinodermos, como lo son el erizo de mar y la estrella de mar.

En México, la demanda comercial por el pepino de mar, principalmente *Isostichopus fuscus* en el Pacífico, inició en 1988. El interés por explotarlo se centró en pescadores de Sonora, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. De los holotúridos comestibles, *Isostichopus fuscus* es el de mayor demanda internacional debido a la textura de su piel y su tamaño.

Para la región del Atlántico, Golfo de México y Mar Caribe, a inicios del año 2000 se generó un interés en la explotación de pepino de mar. Inició la explotación furtiva y a través de permisos de pesca de fomento del pepino café, *Isostichopus badionotus*. Esta especie tiene características muy similares a *I. fuscus* del Océano Pacífico.

Los primeros estudios realizados en la plataforma de Yucatán permitieron identificar una distribución de al menos cuatro especies de pepino de mar, de las cuales tres presentan biomasa con un potencial comercial para los mercados asiáticos. *Isostichopus badionotus* es la más abundante y de mayor distribución en la región central y poniente de la plataforma de Yucatán (De Anda *et al*, 2006).

A finales de 2007, y a través de la concesión de siete permisos de pesca de fomento (INP, 2009), se tenía planteado el ordenamiento y manejo integrado del recurso pepino de mar para Yucatán. Sin embargo, la presencia de la marea roja en las áreas de distribución de las mayores concentraciones diezmo considerablemente su abundancia.

Aspectos socioeconómicos, legislación pesquera y conservación biológica

Tradicionalmente, el aprovechamiento del pepino de mar se ha desarrollado artesanalmente por parte de sociedades cooperativas de la flota ribereña yucateca. Su aprovechamiento representa una de las fuentes más importantes de ingresos para las comunidades pesqueras locales. Esta derrama económica tiene una repercusión directa en el bienestar social y económico de las comunidades pesqueras, pues permite una mayor participación que otras pesquerías (empleando indirectamente a jóvenes, mujeres y personas de la tercera edad). Este recurso provee también ingresos económicos a pobladores de las comunidades rurales cercanas a la costa, que migran hasta estas para brindar servicios básicos o referentes al procesamiento del producto final del pepino de mar (Fig. 3).

El establecimiento de una pesquería de pepino de mar en Yucatán ofrece una buena oportunidad para establecer un marco de manejo pesquero basado en la mejor información científica disponible. El establecimiento de líneas base de investigación biológico-pesqueras para lograr un manejo ordenado, precautorio y un aprovechamiento sustentable pueden enfocarse en la determinación del ciclo reproductivo y madurez reproductiva del pepino de mar, historias de vida, la estructura de la población, la estimación de la biomasa, modelación cuantitativa de la dinámica poblacional (valoración del stock pesquero y análisis de decisión) y aspectos socioeconómicos de la pesquería. El establecimiento de una pesquería de pepino de mar en Yucatán ofrece una buena oportunidad para establecer un marco de manejo pesquero basado en la mejor información científica disponible.

El establecimiento de líneas base de investigación biológico-pesqueras para lograr un manejo ordenado, precautorio y un aprovechamiento sustentable pueden enfocarse en la determinación del ciclo reproductivo y madurez reproductiva del pepino de mar, historias de vida, la estructura de la población, la estimación de la biomasa, La legislación pesquera ha permi-



Figura 3. Aspectos sociales y generación de empleos indirectos derivados del aprovechamiento del recurso pepino de mar en la costa de Yucatán

tido modelación cuantitativa de la dinámica poblacional (valoración del stock pesquero y análisis de decisión) y aspectos socioeconómicos de la pesquería.

Acceder al aprovechamiento del pepino de mar de una forma precautoria mediante la emisión de permisos de pesca de fomento, bajo los términos y condiciones que marca la Ley de Pesca y su Reglamento. La pesca de fomento consiste en establecer ciertas condiciones controladas de captura durante una vigencia limitada, durante la cual se monitorea y vigila la extracción siguiendo un protocolo científico. El desarrollo de proyectos de investigación que contribuyan al conocimiento de este recurso pesquero es necesario para sentar las bases biológicas que permitan un aprovechamiento bajo esquemas comerciales. El propósito es que, de una manera formal y continua, se generen conocimientos básicos sobre la biología, ecología y dinámica poblacional del recurso, con dos objetivos primordiales: 1) reunir elementos suficientes para evaluar la capacidad regenerativa de las poblaciones silvestres y 2) analizar la posibilidad de efectuar o no la captura comercial regular. La legislación del aprovechamiento comercial de este recurso debe ser sustentada en el conocimiento científico de las poblaciones mismas, ya que experiencias en otros países han demostrado que este grupo de organismos son susceptibles a sobreexplotación debido a sus características biológicas, dinámica de poblaciones, madurez sexual tardía, reproducción

dependiente de la densidad y bajas tasas de reclutamiento (Bruckner, 2003).

Referencias

- Bruckner, A. 2003. Conservation strategies for sea cucumbers: Can a CITES Appendix II listing promote sustainable international trade? SPC Beche-de-Mer Information Bulletin 18: 24-33.
- Bruckner, A. 2005. The proceedings of the technical workshop on the conservation of sea cucumbers in the families Holothuridae and Stichopodidae. NOAA Technical Memorandum NMFSOPR 44, Silver Spring, MD 239 pp.
- Conand, C. 2005. Sea cucumber biology, taxonomy, distribution, biology, conservation status. En: Bruckner, A. (editor) The Proceedings of the Technical workshop on the conservation of sea cucumbers in the families Holothuridae and Stichopodidae. NOAA Technical Memorandum NMFSOPR 44, Silver Spring, MD 239 pp.
- Conand, C. y Byrne, M. 1993. A review of recent developments in the world sea cucumber fisheries. *Ma. Fis. Rev.* 55:1-13.
- Cooney 2004. The Precautionary principle in biodiversity conservation and natural resource management. IUCN.
- Dance, S. K., Lane, I. y Bell, J. D. 2003. Variation in short-term survival of cultured sandfish (*Holothuria scabra*) relea-

sed in mangrove–sea grass and coral reef flat habitats in Solomon Islands. *Aquaculture*. 220: 495-505.

De Anda-Fuentes, D., Cervera-Cervera K., Espinoza-Mendez, J. C., Cob-Pech, E. y Bernes-Bucio, M. 2006. Abundancia y disponibilidad del pepino de mar *Holothuria* en la plataforma de Yucatán, 2005. SAGARPA. INP. 15p.

Food and Agriculture Organization. 2004. The state of world fisheries and aquaculture. FAO Fisheries Department. Rome, Italy. 153 pp.

Francour, P. 1998. Predation in holothurians: a literature review. *Invertebrate Ecology* 116: 52-80.

Hammond, L. S. 1982. Patterns of feeding and activity in deposit-feeding holothurians and echinoids (Echinodermata) from a shallow back-reef lagoon, Discovery Bay, Jamaica. *Bulletin of Marine Science* 32: 549-571.

Humann, P. 1999. Reef creature's identification: Florida, Caribbean and Bahamas. New World Publications, 2a Ed. Jacksonville, Florida. 396 pp.

Instituto Nacional de la Pesca (INP). 2005. Atlas Nacional Pesquero. SAGARPA.CONAPESCA. Mazatlán, Sinaloa. 196 pp.

Instituto Nacional de la Pesca (INP). 2009. Anuario estadístico de Acuicultura y Pesca 2007. SAGARPA. CONAPESCA. México, D.F. 227 pp.

Gonzalo Ortega García¹, Ismael Raz Caamal¹, Héctor Magaña Sevilla², Jorge Ortiz Ortiz², Ángel Sierra Vázquez², Fernando Centurión Castro³ y Rubén Montes Pérez³

¹Instituto Tecnológico de Conkal (ITC), ²Cuerpo Académico Ganadería Tropical Sustentable, Instituto Tecnológico de Conkal (ITC), ³ Cuerpo Académico de Reproducción y Mejoramiento Genético Animal, Departamento de Reproducción Animal, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias – UADY

Introducción

En México hay una población de 8, 870,312 caprinos, el 87 % de los semovientes de esta especie se ubica en el área rural y en las regiones áridas y semiáridas, sitios donde se han localizado el mayor número de cabras. En cinco estados se encuentra la mayor cantidad de caprinos, Oaxaca, Coahuila, San Luís Potosí, Puebla y Nuevo León que en conjunto contribuyen con el 47 % del inventario nacional. De la misma forma, la región norte-centro aporta aproximadamente el 45 % de la producción de leche de cabra (SIAP, 2005). La producción caprina de leche constituye uno de los sistemas productivos de mayor repercusión, para las áreas rurales del trópico mexicano, porque además de proveer la alimentación de las crías, también representa un beneficio económico al productor. Sin embargo, esta producción se ve influida por factores genéticos y ambientales de compleja interacción, de los cuales su escaso conocimiento puede originar una respuesta productiva limitada.

La producción láctea en caprinos está influenciada por la composición genética, esto es, la raza y las cruces que la componen, así como también, la variación genética que existe dentro de estas. Además de una amplia gama de efectos ambientales que van desde la alimentación, clima, manejo, edad del rebaño, época de parto, entre otras. Sin embargo, esta apreciación sería incompleta si no se considera la interacción genotipo x ambiente (Palma, 1995). Almanza *et al.*, (1995) encontraron un efecto de interacción genotipo x ambiente para la persistencia de la curva de lactación dado entre el grupo genético y la edad de la cabra. Mientras que Rosas (2005)

encontró una interacción entre raza y mes de lactación. Por otro lado Browning y Leite-Browning (2011) al realizar un estudio con tres razas (Boer, Kiko, y Spanish) y seis cruces de estas, formando un total de nueve genotipos, encontraron una interacción de tres vías entre la raza del semental padre x la raza de la madre x el mes nacimiento, la cual fue significativa ($P < 0.05$) para el peso ajustado a los 90 días.

Los cabritos nacidos en el mes de marzo fueron más pesados que los cabritos nacidos en mayo en seis de los nueve genotipos estudiados en este trabajo. Debido a la complejidad del tema muchos investigadores han propuesto varios modelos matemáticos para evaluar correctamente la interacción genotipo x ambiente en diferentes especies animales, tanto domesticas como silvestres, como ejemplo de esto se puede mencionar a Raden y Raden (1990), quienes diseñaron dos técnicas básicas para mejorar el modelo animal en la evaluación de sementales, donde incluyeron los efectos de la Interacción Genotipo x Ambiente para una mayor precisión en la estimación de los valores genéticos. El objetivo del presente trabajo fue destacar los principales factores genéticos y ambientales que influyen sobre la producción de leche en cabras, principalmente la interacción entre ambos a partir de una revisión bibliográfica.

Factores genéticos

Los factores genéticos actúan directa o indirectamente sobre la ubre como órgano encargado de elaborar y segregar la leche. Por lo que existen diferencias muy marcadas entre grupos genéticos. Sánchez (1991) y Ruvuna *et al.*, (1995)

mencionan que la producción máxima de leche la alcanzan las razas Alpina y Toggenburg con 2.2 kg., mientras que las razas Nubia y Saanen su pico es de 2.1 kg superior a lo que reportan Ruvuna *et al.*, (1995) con 0.9 a 1.1 kg. El factor de persistencia más alto lo presentó la raza Nubia con 2.5 kg mientras que en otras razas fue de 2.4 kg, estos resultados son inferiores a lo reportados por otros investigadores con rangos de 2.87 a 6.68 kg. Aun con estas variaciones entre razas, también se puede asumir que un mismo genotipo afecta a dos o más lactaciones sucesivas de una misma cabra, por lo que las diferencias entre lactaciones se pueden atribuir a diferentes ambientes.

No es ilógico suponer que un mismo genotipo pueda causar diferentes efectos fenotípicos a distintas edades del individuo, debido por ejemplo, a que sobre dos lactaciones no actúan exactamente los mismos genes, y actúan con diferentes intensidades en ambos momentos, incluso pueden cambiar la dirección de acción (López, 1995). Molenat y Frebling (1976) mencionan que la introducción de nuevas razas en un macro ambiente o región deberá ser estudiada previamente, ya que frecuentemente se introducen con el objetivo de aumentar la producción, y muchas veces no lo logran. Por lo que a la hora de tomar la decisión para producción de leche, es muy importante seleccionar el genotipo más apropiado para el ambiente más adecuado según lo que se desee producir.

Factores ambientales

Los factores ambientales más importantes a considerar en la producción animal y en especial en la producción de leche caprina, en virtud de sus interacciones con el genotipo son los ligados a: los niveles de nutrición general, los factores climáticos (temperatura, humedad, fotoperiodo), el modo de explotación (adaptación de las hembras y los cabritos al manejo de los ciclos de destete, el número de hembras por semental en el empadre, entre otros) y la adopción de nuevas tecnologías (sincronización de estros, inseminación artificial, trasplante de embriones) (Guerrero, 2010).

En el altiplano de México, Dobler (1999) trabajando con un rebaño de la raza Saanen, confirmó la influencia de la edad de la cabra y la época de parto sobre la producción de leche, agregando también el año reproductivo y el tamaño de la camada como los principales factores ambientales que influyen sobre las características productivas de esta raza.

La importancia de estudiar los factores ambientales que modifican la producción de leche de la cabra en México y que pueden estar interrelacionadas, han sido estudiados por Palma (1995). Este señala que la interacción época x año afecta directamente el largo de la lactancia y, por ende la producción total de leche. Destacando a la estacionalidad reproductiva como el principal factor, seguido por el tipo racial, el número de lactancia y el manejo alimenticio.

Por lo que se puede resumir que el ambiente juega un factor fundamental en la producción láctea de los caprinos, ya que como se ha visto en algunos trabajos los factores ambientales algunas veces tienen más influencia en las explotaciones caprinas que el tipo racial. Ya que si a cierto genotipo no se le proporciona el ambiente propicio, simplemente la producción láctea será limitada.

Interacción genotipo x ambiente

Se puede decir que la interacción genotipo x ambiente es el comportamiento relativo diferencial que expresan los genotipos cuando se les somete a diferentes ambientes. Cuando se habla de fenómenos hereditarios que se dan en tal o cual investigación, queda implícito que estos se refieren al ambiente en el cual tuvieron lugar. Si dicho ambiente cambia, es probable que los fenómenos hereditarios no se expresen adecuadamente (Márquez, 1991). Varios estudios consideran cuatro posibles tipos que se pueden presentar en la interacción genotipo x ambiente, estos se describen a continuación.

Interacción genotipo x ambiente Tipo I. Se presenta cuando las diferencias tanto genéticas como ambientales son pequeñas, por ejemplo

cuando se utilizan dos líneas de una raza dentro de un rebaño, es decir hay una influencia del componente específico de cada animal al interior del rebaño, este tipo es poco estudiado (Pirchner, 1983).

Interacción genotipo x ambiente Tipo II. Este se presenta cuando las diferencias en el genotipo son grandes y las diferencias ambientales son pequeñas, por ejemplo cuando se utilizan varias razas en un mismo rebaño. Aquí se presenta un efecto de heterosis, donde los genotipos heterocigóticos demuestran en general mejor adaptación a una amplia gama de microambientes y están menos sujetos a la influencia no genética (Molenat y Frebling, 1976).

Interacción genotipo x ambiente Tipo III. Este se presenta cuando las diferencias genéticas son pequeñas y las ambientales son grandes, por ejemplo cuando utilizamos dos líneas de una raza en diferentes rebaños. Estas interacciones se manifiestan entre líneas o en descendientes de un semental, en razón de diferentes ranchos o regiones (Dunlop, 1962; Oakes, 1967).

Interacción genotipo x ambiente Tipo IV. Este cuarto tipo se presenta cuando las diferencias genéticas y ambientales son grandes, es decir cuando se utilizan varias razas de diferentes rebaños. Por ello, la introducción de nuevas razas en un macro ambiente o región, deberá ser estudiada previamente, ya que algunas veces se introducen nuevas razas en una zona geográfica determinada con el objetivo de incrementar la producción sin antes haber sido evaluadas, y el resultado muchas veces es todo lo contrario (Molenat y Frebling, 1976).

Almanza *et al.*, (1995). Estudiando la curva de lactancia en cabras encontraron que los factores que la influyen fueron: el grupo genético, la edad de la cabra y la estación de parto; los mismos reportados por Palma (1995), sin embargo, estos autores reportan un efecto de interacción genotipo x ambiente para la persistencia de la curva dado entre el grupo genético y la edad de la cabra. Rosas (2005), estudio la interacción raza por mes de lactación

mediante el análisis de varianza, donde las únicas variables que resultaron significativas fueron las concentraciones de las isoformas de la caseína.

Importancia de la interacción genotipo x ambiente

La importancia de la interacción genotipo x ambiente radica en la aplicación que pudiera tener en los programas de mejoramiento genético, para ello es necesario que el experto estudie el comportamiento de las diferentes razas de cabras en una región dada y emita recomendaciones, por su parte, el genetista simultáneamente comienza a mejorar dichas razas utilizando las recomendaciones que haya dado el experto. Cuando se obtiene una línea mejorada es de esperar que sea superior para las condiciones de prueba (recomendadas por el ambientalista), mas no se sabe si dicha línea genética puede ser superior en condiciones diferentes a estas (Guerro, 2010).

En el estado de Querétaro, Rosas (2005) al estudiar la interacción raza x mes de lactación en tres grupos raciales (Nubian, Alpina y Toggen) bajo un mismo manejo y ambiente, encontró diferencias significativas en la concentración de caseína, obteniendo los mayores promedios las cabras Nubian en el segundo mes de lactación (2.70 g/l) y, el grupo de las Alpinas el mayor promedio en el cuarto (2.62 g/l) y quinto mes de lactación (4.70 g/l) y con promedios similares en el sexto y séptimo mes de lactación. Por lo que es de suma importancia considerar estos resultados para el diseño de los programas de mejoramiento genético.

En una región semiárida templada de México, López (1999) reportó diferencias significativas al analizar la interacción raza x número de parto en cuatro razas de cabras lecheras (Nubia, Alpina, Toggenburg y Saanen) y sus cruza. Los resultados de la primera lactación de la raza Nubia (1.29 lt.) fue inferior al de las demás razas, pero para la tercera lactación resultó ser significativamente ($p < 0.05$) más alta con una producción de 1.82 litros por día respecto a la

Saanen que obtuvo 1.60 litros por día, e igual a la Alpina y Toggenburg ($p < 0.05$), terminando las cuatro razas muy parejas ($p > 0.05$) con 1.78 litros por día en promedio en la quinta lactación, estas tendencias fueron similares a lo ocurrido para el caso de las concentraciones de caseína k de la leche mencionadas anteriormente. En este trabajo se apreció que la Raza Nubia tiende en lo general a ser más estable en diferentes ambientes en comparación con las otras tres razas estudiadas, este comportamiento ya había sido observado por Brow *et al.*, (1988).

En el mejoramiento genético que se realiza en México, ha sido usual no considerar la interacción del genotipo x ambiente, ya que los estudios desarrollados han tenido la finalidad de medirla para poder eliminarla mediante la selección en los programas de mejoramiento (Carmona *et al.*, 1997). No obstante, que su importancia esta demostrada al garantizar mejores niveles de productividad, por lo que es necesario, considerar el estudio de la interacción genotipo x ambiente, cuando se pretenda emprender sistemas de producción apropiados para una región determinada.

Otro punto a considerar en el mejoramiento genético caprino del país, es que en la actualidad la base del incremento en la producción de los caprinos productores de leche en México, consiste fundamentalmente en la importación de material genético de Estados Unidos y Canadá, y en algunas ocasiones estos genotipos no producen las mismas cantidades que en el lugar donde estas fueron desarrollados, debido al efecto del ambiente sobre estos grupos genéticos, dando como resultado una disminución en el progreso genético de las explotaciones. Ante este panorama la interacción genotipo x ambiente es sumamente importante, y se recomienda su reconocimiento previo cuando se pretenda desarrollar un sistema de producción sobre todo en una región tropical.

Referencias

- Almanza, A., H. Montalvo y Valencia, M. 1995. Factores que influyen sobre las características de la curva de lactancia en cabras. *Rev. Latamer. Peq. Rumin.* 1:173-186
- Browning, R. y Leite-Browning, M.L. 2011. Birth to weaning kid traits from a complete diallel of Boer, Kiko, and Spanish meat goat breeds semi-intensively managed on humid subtropical pasture. *J. Anim. Sci.* 89: 2696-2707
- Carmona, M, M. A., A.L. Bucio, H.M.A. Galina y López, B.B. 1997. Evaluación del comportamiento de interacción genotipo ambiente con fines de selección. *Memorias, Trópico 97.* Universidad de Colima. 13 y 14 de Noviembre de 1997. Barra de Navidad, Jalisco, México. 118-124.
- Dobler, L. J. 1999. Algunos factores ambientales que influyen sobre características productivas y parámetros genéticos en un rebaño de cabras Saanen. Tesis de Maestría. FES-Cuautitlán, UNAM.
- Guerrero, C. 2010. La Caprinocultura en México, una estrategia de desarrollo. 1 de Julio, RUDICS, Vol. 1, Núm. 1.
- Dunlop, A. A. 1962. Interactions between heredity and environment in the Australian Merino. 1. Strain x location interaction in wool traits. *Aust. J. agric. Res.* 13-503
- Márquez, S. F. 1976. El problema de la interacción genotipo ambiental en la genotécnica vegetal. Departamento de enseñanza, investigación y servicio en fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo. Ediciones Patena, A. C. México.
- Molina, M. y Frebling, J. 1976. Considerations Generals. In: *Amelioration genetique Des Animaux de Ferme Application aux Bovins.* INRA. Department de Genetique Animale. Paris, France. 52-54
- Oakes, M. W. 1967. The effect of different levels of management on the assessment of differences between variety of chickens. *Anim. Prod.* 9:121
- Palma, G. J. 1995. Factores que influyen en la producción lechera de un hato caprino en el semiárido mexicano. Tesis de doctorado. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad de Colima. Colima, Col, México.

- Pircher, F. 1983. Population genetics in animal breeding. Plenum Press, Second Edition, New York and London 167-174.
- Raden, P. M. Van y Van Raden, P.M. 1990. Potential improvements in animal model evaluation systems. Proceeding of the 4th World Congress on Genetics applied to Livestock. Production, Edinburgh 23-27 July 1990. XII. Plenary lectures molecular genetics and mapping, selection, production and estimation, 357-364.
- Ruvuna, F., J.K. Kogi, J.F. Taylor, y Mkuu, S.M. 1995. Lactation curves among crosses of galla and east African with toggensburg and Anglo Nubian goats. Small Ruminant Research 16: 1-6
- Rosas, G., B. 2005. Relación entre la producción de leche, su composición química y rendimiento en la elaboración de queso en cabras lecheras. Tesis de maestría. http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Beatriz_Rosas.pdf. Descargado el 25 de septiembre del 2011.
- Sánchez, F. y Montalvo H. 1991. Curvas de lactación y su ajuste en cabras lecheras. Memorias, Simposium de reproducción y genética en caprinos productores de leche. 17 a 19 de Julio 1991. FES-Cuautitlán UNAM, México. 9-21.
- Sistema de Información Agrícola y Pesquera. 2005. www.sagarpa.gob.

Chavier De Araujo Freitas y José Javier Quezada Euán

Cuerpo Académico Apicultura Tropical, Departamento de Apicultura, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias-UADY

Resumen

El recambio de abejas reinas de *Apis mellifera* es una práctica de manejo que incrementó su demanda desde que aparecieron las abejas africanizadas. Los procesos de crianza artificial de abejas reinas son conocidos y diversos, con ventajas y desventajas entre estos, pero un método llamado Doolittle es el más ampliamente utilizado en apiarios criaderos de abejas reinas. Los efectos negativos de la africanización pueden ser contrarrestados cuando se establecen programas de mejoramiento genético regionales, y así evitar la introducción de abejas reinas de diferentes lugares, ya que existe el peligro de introducir nuevas enfermedades y genotipos poco productivos. En la mayoría de los casos la fecundación de las reinas se realiza de manera natural en vuelos libres en áreas de congregación de zánganos, haciendo que el progreso genético sea lento. Desde hace algunos años se cuenta con tecnología como la inseminación instrumental en *A. mellifera*, con la cual el avance genético se logra más rápidamente. En años recientes, se ha introducido la crioconservación de semen como otra técnica de apoyo al mejoramiento genético en la apicultura, en donde la viabilidad poscongelamiento del semen ha pasado de un 42,6% a un 68% que en la actualidad se tiene, estableciendo precedentes para futuras investigaciones para optimizar las técnicas para el progreso genético.

Introducción

Las abejas reinas en las colonias de *Apis mellifera* son los individuos en los cuales se centra la vida de las abejas, ya que esta produce algunos tipos de feromonas que influyen en el comportamiento de los demás individuos de la colonia, haciéndola por tanto el individuo más importante por razones genéticas y sociales (Fig. 1) (Delaney *et al.*, 2011). Para un apicultor también la abeja reina cobra gran importancia, princi-

palmente cuando son jóvenes porque producen una mayor cantidad de huevecillos, que se traducirán en una mayor población de abejas obreras en las colonias que acopiarán el néctar para la producción de miel durante las temporadas de cosecha.

El recambio frecuente de las abejas reinas en las colonias de abejas en la Península de Yucatán (y probablemente en México), no había sido una actividad de importancia incorporada en el manejo de los apiarios de la mayoría de los apicultores hasta que aparecieron las abejas africanizadas. Estas fueron reportadas en México en 1986 y en Yucatán en 1987, y esta situación cambió la composición genética de las abejas europeas que en la región existía, dando como resultado una población híbrida predominante (Quezada-Euán y Hinsull, 1995). Hasta ese momento entonces, las poblaciones de abejas que se trabajaban en el territorio mexicano tenían un origen europeo, lo cual significaba que eran dóciles y de fácil manejo para los apicultores.



Figura 1. Abeja reina sobre un panal con abejas (centro de imagen).

La abeja reina en una colonia puede ser sustituida o cambiada de manera natural bajo ciertas condiciones, principalmente cuando la

que conlleva a que la población realice una enjambrazón de tipo reproductivo. Estos eventos pueden ocurrir de manera natural, en la Península de Yucatán, desde mediados del mes de mayo hasta el mes de agosto (dependientes de las condiciones de floraciones), y una serie de eventos coordinados ocurren al momento de salir de la colonia el enjambre, el movimiento en conjunto de todos los individuos y el sitio donde el enjambre se establecerá para desarrollar una nueva colonia. Cuando esta situación se presenta, las abejas obreras eligen larvas muy jóvenes que se convertirán en futuras reinas de la colonia de donde ocurrió la enjambrazón, y estas obreras de menos de dos semanas de edad (abejas nodrizas), alimentan a las larvas por tener sus glándulas hipofaríngeas y mandibulares bien desarrolladas.

El alimento que reciben las larvas de reinas consiste principalmente de un componente proteínico de las glándulas hipofaríngeas y alguna secreción de las glándulas mandibulares, y este alimento lo recibe durante todo su desarrollo. Las abejas nodrizas seleccionan larvas de obreras a las que aprovisionan con jalea real y transforman a las celdas de obreras en celdas reales. Estas larvas alrededor de cuatro a cinco después de eclosionadas, su celda es operculada y ocho días después emerge una reina virgen (Weiss, 1982).

Las abejas reinas en la apicultura

Existen diversos métodos que los apicultores pueden emplear para reproducir abejas reinas a pequeña escala, como el método Miller y Alley, que están basados en ofrecerle a una colonia huérfana panales que contengan crías muy jóvenes para que las abejas nodrizas escojan algunas de estas y las críen como larvas de reinas. Estos métodos tan simples son muchas veces desconocidos por apicultores campesinos, sin embargo, los apicultores tradicionales cuando realizan divisiones de sus colonias aplican este principio, dejando panales con crías muy jóvenes en la colonia que queda huérfana después de realizar una división, pero este sistema retrasa el inicio del desarrollo de una colonia y requiere varias

revisiones y reforzar con panales de cría de otras colonias durante el proceso, por el tiempo que tarda la reina en emerger, alcanzar su madurez sexual e iniciar postura.

También están los métodos a gran escala como el Doolittle, que se fundamenta en realizar transferencias de larvas muy jóvenes a celdas reales artificiales o copaceldas en una colonia en estado de orfandad (Fig. 2) (Doolittle, 1888). Estas celdas artificiales en la actualidad comercialmente se elaboran de plástico o de cera de abeja. El principio del método Doolittle ha sido el mismo desde que se publicó por primera vez (Doolittle, 1888), y este es el que se utiliza comercialmente en los criaderos de abejas reinas, aunque un apicultor capacitado en esta técnica podría realizarla con mínima o casi ninguna inversión de dinero, porque los equipos requeridos los puede conseguir o elaborar sin comprar material alguno. Esta técnica de traslarves es hoy una práctica común entre apicultores de países como Brasil (Gramacho *et al.*, 2008). En los apiarios especializados en la cría de abejas reinas fecundadas, estas son reproducidas a gran escala (principalmente de origen europeo), empleando una diversidad de núcleos de fecundación para tal fin.

La reproducción de abejas reinas de origen europeo para el reemplazo de reinas en áreas tropicales es un punto de mucha discusión. Una limitante de la apicultura en México es la falta de abejas genéticamente mejoradas que permitan contrarrestar los efectos negativos de la africanización (Arechavaleta *et al.*, 2008). Para el caso de Yucatán, hay una gran cantidad de colonias en el estado que genera una demanda de abejas reina y existen pocos criaderos que cubren menos del 1 % del mercado. Esta demanda se cubre con un elevado porcentaje de reinas que se introducen de diferentes estados del país, existiendo el peligro de introducción de nuevas enfermedades y de genotipos poco productivos (Quezada *et al.*, 2008). Por tal motivo es conveniente establecer programas de selección basados en poblaciones locales de abejas que ya se encuentren adaptadas en cada región.



Figura 2. Transferencia de una larva a una copacelda de cera para el inicio de la cría de una abeja reina

En México se han realizado trabajos de mejoramiento con *Apis mellifera* utilizando material europeo y africanizado. Guzmán-Novoa y Page (1993), encontraron que es posible reducir la defensividad en colonias africanizadas sin diferencias con colonias europeas después de dos a tres generaciones de cruzamientos de reinas africanizadas con zánganos europeos. Utilizando solo material africanizado los resultados se logran más lentamente en cada generación, pero programas para seleccionar abejas africanizadas a partir de poblaciones locales para mejorar características como producción de miel, resistencia a enfermedades y reducción de la defensividad son posibles (Quezada *et al.*, 2008), aunque se debe considerar que el financiamiento de estos programas necesitan ser permanentes y a largo plazo.

Simultáneamente a la cría de abejas reinas están los zánganos, el éxito de la cría de reinas depende básicamente de la abundancia y calidad de zánganos disponibles en la proximidad de las áreas de fecundación, debiendo criarse 50 zánganos por cada reina virgen (Fert, 2008), esto en los casos en que la fecundación de las reinas se realiza en vuelos libres en áreas de congregaciones de zánganos.

Una herramienta disponible en la apicultura desde hace años y que ha venido a ayudar al mejoramiento genético es el uso de la inseminación instrumental. Existe una variedad de aparatos en el mercado para realizar estos procedimientos de inseminación, que en términos generales son costosos y limitan el acceso de apicultores a esta tecnología, pero se ofrecen alternativas simple-

ficadas y económicas. Trabajos realizados por Skowronek *et al.*, (1995), han demostrado que el uso de semen fresco o diluido en la inseminación resultan en un buen almacenaje de espermatozoides en la espermateca, y un número de espermatozoides suficiente para iniciar una normal ovoposición.

El almacenamiento y congelamiento de semen en *Apis mellifera* también es una herramienta que ya se encuentra disponible en la apicultura moderna. Algunos trabajos realizados por Collins (2004), discuten que si se logra una mejora en la supervivencia de los espermatozoides durante la conservación de hasta un 50%, el semen almacenado se convertiría en una contribución valiosa a las herramientas del criador de reinas; para este momento se mencionaba que la viabilidad del semen sometido a dilución y congelamiento fue de 42.6%. Taylor *et al.*, (2009) probando con técnicas utilizadas en la crioconservación de semen de mamíferos, lograron mejorar la viabilidad después de descongelado el semen de *Apis mellifera* criopreservado, logrando un 68% de viabilidad poscongelamiento. Esta viabilidad resultó muy por encima del 42,6% que se consideró podría resultar en cría de obrera de alta calidad mediante inseminación instrumental, y que en su momento proporcionó perspectivas de éxito para la criopreservación de semen. Los valores de viabilidad logrados de 68% poscongelamiento proporcionan un potencial para la futura optimización de técnicas de criopreservación para la conservación genética y para el mejoramiento de genotipos de abejas melíferas. Con todos estos elementos y avances mencionados a los cuales la apicultura ya tiene acceso, como la inseminación instrumental y la crioconservación de semen, los programas de mejoramiento genético pueden contar con estas herramientas para su beneficio. Es importante que las fuentes de financiamiento que puedan apoyar iniciativas en pro de la apicultura sean constantes y no temporales. Igualmente los programas de selección en México deben considerar y apoyar el uso de material biológico local (africanizado), adaptado a las condiciones particulares de cada región

Referencias

- Arechavaleta M. E. V., Robles, C.R. García, F.F. y Correa, A.B. 2008. Mejoramiento genético de poblaciones de colonias de abejas para alta producción de miel y bajo comportamiento defensivo en zonas africanizadas. 2° Simposium Mundial de criadores de abejas reinas e inseminación artificial. Del 15 al 18 de octubre del 2008 en Nuevo Vallarta, Nayarit, México. Pp. 31-34
- Collins, A. M. 2004. Functional longevity of honey bee, *Apis mellifera*, queens inseminated with low viability semen. Journal of Apicultural Research, 43: 167-171
- Delaney D. A., Keller, J.J. Caren J.R. y Tarpy, D.R. 2011. The physical, insemination, and reproductive quality of honey bee queens (*Apis mellifera* L.). Apidologie 42: 1-13
- Doolittle, G. M. 1888. Scientific queen rearing. As practically applied being a method by which the best of queen-bees are reared in perfect accord with nature's ways. Cheshire Co-nnecticut, The Americam Bee Journal, 16 pp. Reimpreso en: Bee Science. 41: 1
- Fert, G. 2008. El rol de la crianza de zánganos en el manejo de la cría de reinas para mejorar la calidad de las reinas. 2° Simposium Mundial de criadores de abejas reinas e inseminación artificial. Del 15 al 18 de octubre del 2008 en Nuevo Vallarta, Nayarit, México. Pp. 101
- Gramacho, K. P., Francoy, T.M. De Jong, D. y Gonçalves, L. S. 2008. Investigaciones, tecnologías nuevas y programas de selección para la crianza de reinas africanizadas en Brasil. 2° Simposium Mundial de criadores de abejas reinas e inseminación artificial. Del 15 al 18 de octubre del 2008 en Nuevo Vallarta, Nayarit, México. pp. 23-26
- Guzmán-Novoa, E. y Page, R. 1993. Back-crossing Africanized honey bee queens to European drones reduces colony defensive behavior. Ann. Entomol. Soc. Am. 86: 352-355
- Quezada-Euán, J. J., De Araujo-Freitas, Ch. Marrufo-Olivares J.C., Velásquez-Madrado, A. y Medina-Medina, L.A. 2008. Abejas africanizadas seleccionadas para producción de miel: una posibilidad para el Trópico Mexicano. 2do Simposium mundial de criadores de abejas reinas e inseminación artificial. Del 15 al 18 de octubre del 2008 en Nuevo Vallarta, Nayarit, México. Pp 47-54
- Quezada-Euán, J. J. y Hinsull, S.M. 1995. Evidence of continued European morphometrics and mtDNA in feral colonies of Money bees (*Apis mellifera* L.) from Yucatan Peninsula, Mexico. Journal of Apicultural Research. 24:161-166
- Skowronek, W. C. Kruk, y Loc., K.1995. The insemination of queen honeybees with diluted semen. Apidologie 26: 487-493
- Taylor, M. A., Guzmán-Novoa, E., Morfin, N. y Buhr, M.N. 2009. Improving viability of cryopreserved honey bee (*Apis mellifera* L.) sperm with selected diluents, cryoprotectants, and semen dilution ratios. Theriogenology, 72: 149-159
- Weiss, F. 1982. Acerca de la formación de las castas hembras en la colonia de abejas. En: Ruttner, F. (edit.) Cría de reinas: bases fisiológicas e interacciones técnicas. Editorial Apimondia, Bucarest, RUM. pp. 41-60.

Ileana Ortigón Aznar¹, Alberto Rosado Espinosa¹, Andy Arjona Massa² y Alfonso Aguilar Perera¹

¹Cuerpo Académico de Recursos Marinos Tropicales, Departamento de Biología Marina y

²Licenciatura en Biología Marina, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias – UADY

¿Qué es la marea roja?

Llamada también "hemotalasia" (del griego hemos, hematos=sangre y thalassos=mar), la marea roja debe su nombre a la coloración del agua producida por el crecimiento masivo de organismos fitoplanctónicos durante ciertas épocas del año. Estos eventos, conocidos también como Florecimientos Algales Nocivos (FANs) (o HABs "Harmful Algal Blooms," por sus siglas en inglés), pueden alcanzar abundancias desde cientos de miles hasta millones de células por litro de agua. Esto, dependiendo de la especie, puede producir cambios de coloración en la superficie del mar debido a los pigmentos fotosintéticos de los organismos involucrados. Por tanto, la marea roja no siempre lo será sino que puede tornarse en florecimientos, verdes, amarillos, naranjas, cafés, o blancos.

¿Quiénes son los responsables de la marea roja?

Los dinoflagelados (phylum Dinoflagellata, Clase Dinophyceae) son los responsables principales de las mareas rojas. Estos organismos cuentan con aproximadamente 2000-4000 especies en 550 géneros. De éstos, el 50% son especies incoloras y heterótrofas, mientras que el otro 50% presentan cloroplastos y son fotosintéticos, con una coloración rojiza dada por la xantofila: peridina (Graham y Wilcox, 2000). También, puedan presentar otras coloraciones por la presencia de clorofila a, b, c₁ y c₂ y otros carotenoides como fucoxantina y dinoxantina (Barsanti y Gaultieri, 2006). Los dinoflagelados son considerados como el grupo más primitivo de eucariotas, pues combinan caracteres de procariontes con caracteres de eucariotas (Llorente y Cereceda, 2001). Son típicamente unicelulares biflagelados (Fig. 1), aunque pueden ser no flagelados ameboideos o filamentosos (Barsanti y Gaultieri, 2006) y se caracterizan por presentar

una placas de celulosa que le da apariencia de armadura. Comúnmente, los dinoflagelados se reproducen por división asexual, sin embargo, también pueden presentar producción de quistes seguida por reproducción sexual. La producción de quistes es un evento importante ya que al mantenerse en un estado de letárgico le permite sobrevivir bajo condiciones extremas o no favorables y cuando se dan cambios en nutrientes, irradiancia, fotoperíodos o temperatura pueden eclosionar. (Graham y Wilcox, 2000). Las especies más comunes que producen florecimientos masivos y que son responsables de las mareas rojas pertenecen a los géneros *Glenodinium*, *Gymnodinium* y *Gonyaulax*.

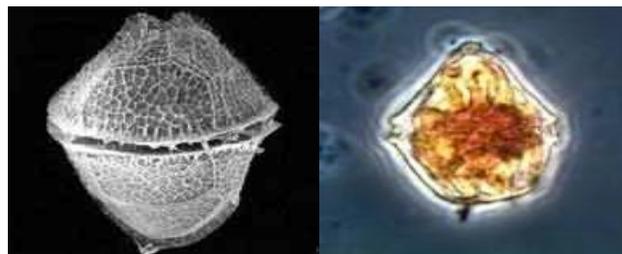


Figura.1. Microfotografía del dinoflagelado *Gonyaulax* spp. (<http://www.antarctica.gov.au/science/science-support/electron-microscope/laboratory>)

Otros organismos responsables también de formar estos eventos son las "Diatomeas (Phylum Ochrophyta, Clase Bacillariophyceae) que cuentan con aproximadamente 10,000-12000 especies pertenecientes a 285 géneros. Estos organismos son fotosintéticos y contribuyen a la productividad primaria global, siendo de los que normalmente predominan en aguas frías y con alto contenido en nutrientes (Graham y Wilcox, 2000). Presentan una coloración dorada a café-sácea debido a la preponderancia de los carotenoides sobre las clorofilas siendo de las ms importantes la xantofila: fucoxantina (Graham y Wilcox, 2000) aunque también puedan presentar otras coloraciones por la presencia de

B-carotenos y de clorofila a, y c_1 , c_2 y c_3 (Basanti y Gaultieri, 2006). Son unicelulares, aunque pueden crecer en colonias y se caracterizan por presentar una pared celular de sílice llamada frústula (Fig. 2).

Las diatomeas se reproducen asexualmente por división celular, aunque la reproducción sexual también es reportada sobre todo cuando se dan cambios en las condiciones ambientales como temperatura o irradiación. También responden a la disponibilidad de nutrientes que actúa como un disparador del proceso. Las especies más comunes que producen florecimientos masivos pertenecen a los géneros tales como *Navicula*, *Cylindrotheca* y *Nitzschia*.

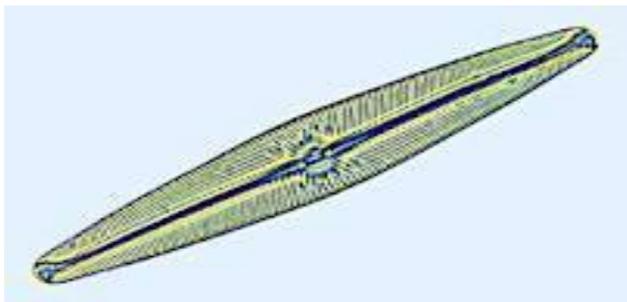


Figura.2. Diatomea del género *Navicula* (<http://www.diatomloir.eu/Site%20Diatom/Saumatre.htm>)

Origen y desaparición

Debido a condiciones ambientales en el mar, hay un gran aumento de la población de estos organismos dando al agua un tinte rojizo. A este gran aumento de la población se lo denomina "floraciones" y sus posibles causas son la disponibilidad de grandes concentración de nutrientes y el establecimiento de corrientes superficiales y vientos (que reunirían a la fauna existente y activaría luego su multiplicación). La desaparición de estos eventos es por lo general repentina y podría responder a factores tales como el agotamiento de nutrientes, el agotamiento del oxígeno disuelto y la depredación.

Toxicidad

La hemotalasia puede ser acompañada por fenó-

menos de mortalidad de animales marinos, unas veces, y otras por síntomas patológicos en animales homeotermos terrestres. La mortalidad de animales marinos no significa necesariamente toxicidad del fitoplancton. Cuando éste es muy abundante produce obstrucción o recubrimiento de las branquias (estructuras respiratorias) y asfixia por falta de oxígeno en el agua (anoxia).

Pero también existe fitoplancton tóxico. Muchas especies de Dinoflagelados producen moléculas complejas con altas propiedades tóxicas (toxinas). Se producen dos tipos mayores de veneno: Uno ejerce su acción sobre poiquilotermos marinos (en especial peces). La presencia normal de estos Dinoflagelados no provoca trastornos visibles en la fauna hasta que la concentración llega a ser de varios cientos de miles/litro.

Otro, no afecta mayormente a la fauna acuática pero sí a los vertebrados homeotermos que ingieren algunos moluscos bivalvos. Estos moluscos se alimentan por filtración del agua de mar que contiene el plancton. Cuando entre sus componentes se encuentran los Dinoflagelados tóxicos, los moluscos que filtran entre 20 y 70 litros de agua por día acumulan toxinas en relación directa con la cantidad de Dinoflagelados presentes. Las toxinas se retienen en el tracto digestivo, sifones branquiales, cavidad paleal y especialmente en la hepatopáncreas, donde se acumulan. La presencia de las toxinas no tiene ningún efecto sobre los moluscos ni altera su aspecto, olor, sabor, etc. El molusco tóxico no presenta ninguna alteración que permita diferenciarlos de los normales.

Toxinas y Sintomatología de la intoxicación

Las enfermedades producidas por intoxicación por toxinas producidas por las microalgas se denominan de acuerdo a los efectos que producen en el ser humano: Envenenamiento Amnésico por consumo de moluscos (VPM), Envenenamiento Diarreico por consumo de moluscos (VDM), Envenenamiento Neurotóxico por consumo de moluscos (NSP por sus siglas en inglés), Envenenamiento Paralizante por consumo de moluscos (PSP), y Envenenamiento por

la toxina de la Ciguatera (CTX) de peces. Sin embargo, la investigación de las biotoxinas marinas y sus efectos sobre la vida marina y del hombre es un área en desarrollo constante y cada vez se conocen nuevos tipos de toxinas como los Azaspirazidos (AZP).

El padecimiento VPM es ocasionado por toxinas de dinoflagelados. Esta enfermedad es ocasionada por distintas toxinas que tienen diferentes grados o poderes de envenenamiento. Este padecimiento una parálisis progresiva en todo el cuerpo que termina con un paro cardiorrespiratorio; si la persona afectada no recibe asistencia médica inmediata, muere.

El padecimiento VDM también está conformado por varios tipos de toxinas, de las cuales el ácido okadaico (ácido graso) es el más potente. Esta toxina causa una inhibición de proteínas fosfatasas que están en las células del epitelio intestinal, lo que genera finalmente salida de agua hacia el exterior. Esto causa finalmente una diarrea. Otra intoxicación es VAM que es ocasionada por el ácido domoico (aminoácido). Es un compuesto excitativo de los llamados neuroexcitantes o excitotoxinas que interfieren con mecanismos de neurotransmisión y causan daño a la célula neuronal y muerte celular. En los seres humanos este daño está asociado con la pérdida de la memoria de corto plazo y en algunos casos con la muerte de la persona.

El grado de intoxicación puede ser clasificado como: leve, moderado o grave, correspondiendo a cada uno de ellos los siguientes síntomas: a) LEVE: Sensación de hormigueo y adormecimiento peribucal, que se extiende progresivamente a cara y cuello. Hormigueo en la punta de los dedos. Cefalea, vértigo y náuseas. b) MODERADA: Alteraciones en la pronunciación. Extensión del hormigueo a brazos y piernas. Rigidez muscular e incoordinación de los miembros. Debilidad general y sensación de flotar en el aire. Ligera debilidad respiratoria. Taquicardia. c) GRAVE: Parálisis muscular, severa dificultad respiratoria. Sensación de ahogo y opresión. La muerte sobreviene por asfixia dentro de las primeras 12 horas. Si se logra superar este estado

crítico, el veneno se elimina bastante rápidamente por vía renal, presentándose un cuadro de mejoría.

Tratamiento

El tipo de toxina depende de la especie de dinoflagelados presente en la marea roja y aún no se conoce algún antídoto. Las toxinas de dinoflagelados son 100 veces más potentes que la estricnina y es el tóxico natural más potente que se conoce hasta la fecha. Disminuye su poder en soluciones alcalinas y pierde toxicidad ante oxidantes diversos. El consumo de alcohol aumenta su absorción, no se inactiva con el cocimiento y su actividad se incrementa con agregados de medios ácidos (jugo de limón y vinagre). El tratamiento básico recomendado es provocar el vómito mediante la administración de agua salada tibia o por cualquier otro método. La respiración artificial en casos agudos es imprescindible. Nunca debe administrarse al paciente alcohol ni café y debe llevarse inmediatamente al médico.

Consecuencias de la marea roja para la salud, el ambiente y la economía

En los seres humanos, la marea roja puede provocar síndromes tóxicos que llegan al organismo por alimentación. Al ingerir peces y mariscos, como camarones, almejas, vieiras, ostras y mejillones, puede sufrir de algún tipo de intoxicación como envenenamiento paralítico, diarreico, neurotóxico y amnésico, así como sufrir los efectos de la tetradotoxina y de la ciguatera. Estas últimas, afectan principalmente a ciertos peces y han sido descritas para zonas tropicales. A pesar de que la ciguatera es ocasionada por un dinoflagelado tóxico, ésta no forma floraciones.

Por otra parte, la marea roja también tiene efectos negativos sobre el ambiente. A nivel ecológico, dichas floraciones ocasionan desplazamiento de especies endógenas, alteración de hábitats y de estructura trófica, condiciones de anoxia, deterioro en la calidad del agua, mortandades masivas de peces y de organismos filtradores, tales como los bivalvos, y muerte de aves

y de mamíferos marinos. Estos efectos sobre el ambiente también tienen severas repercusiones sobre la industria turística, la acuicultura y la recreación causando un daño económico debido a que existen grandes extensiones de mar que están en veda, lo que impide la extracción de moluscos tanto a las empresas exportadoras como a los pescadores artesanales y población en general.

El incremento de marea roja

Durante las últimas décadas, los eventos de FAN aumentaron sustancialmente en aguas costeras alrededor del mundo. Dicha tendencia se debe tanto a causas naturales como antropogénicas, entre las cuales resaltan los mecanismos biológicos de dispersión de especies, la variabilidad natural en los patrones climáticos, los cambios en las condiciones ambientales que promueven la dispersión de especies a través de tormentas y corrientes y el transporte de especies en el agua de lastre de los barcos. Por otra parte, los desechos domésticos, industriales y agrícolas, que debido a su manejo inapropiado son arrastrados por escorrentías hasta llegar al mar. Esto contribuye a acrecentar la cantidad de nutrientes en las aguas costeras. A este exceso de nutrientes se le conoce como eutrofización. Por ende, el proceso de eutrofización permite el crecimiento excesivo de algas lo que a su vez provoca la pérdida de oxígeno disponible para otros organismos en el ambiente acuático. Es por tal razón que la eutrofización provoca un incremento en las FAN.

Casos de Marea Roja en Yucatán

En los últimos años (2003, 2008, 2011), se han detectado florecimientos algales en la costa de Yucatán que, si bien no son tóxicos, si son nocivos ya que traen como consecuencia mortalidad de peces ocasionando descomposición orgánica y mal olor así como afectación al turismo y a la pesca. De los últimos reportes por parte de las autoridades (Dirección de protección contra riesgos sanitarios) para la costa de Yucatán (Diario de Yucatán 2011) se mencionó que la responsable de la marea roja era *Scrippsiella*

trochoidea (Fig.3). Es un dinoflagelado que si bien no está asociado a la producción de fitotoxinas, puede ocasionar mortalidad de peces en bahías con condiciones de anoxia.



Figura 3. Dinoflagelado *Scrippsiella trochoidea* (<http://www.serc.si.edu/labs/phytoplankton/guide/dinoflagellates/scripsie.aspx>)

La Dirección de protección contra riesgos sanitarios en Yucatán precisó que *Scrippsiella trochoidea* fue una de las responsables de la marea roja (misma que afectó el litoral de Yucatán durante el verano de 2003) siendo abundante a 30 millas náuticas al norte de Progreso. De acuerdo con las primeras muestras, la densidad era de medio millón de células por litro de agua y disminuyó para el 22 de agosto a entre 100 mil a 200 mil células por litro. En los monitores también se detectó la concentración de otros florecimientos, como la diatomeas *Pleurosigma* spp y *Cylindrotheca closterium*.

Una semana después (31/08/2011) los Servicios de Salud de Yucatán, de acuerdo con un comunicado de prensa (SIPSE 2011) se informó que en la muestra del 22 de agosto en el Puerto de Chuburná fue la especie no tóxica *Chatoceros* sp (Fig. 4) con abundancias menores a 20,000 cel/l. Para verificar la información, se muestreo en la costa Yucateca tomando un primer punto en Telchac (25/sept/2011) de donde pudo identificarse a *Cylindrotheca closterium* (Fig. 5) con una abundancia entre 100,000 y 350,000 cel/l. También, se muestreo frente a Chelem (7/oct/2011) y se identificó *Cylindro-*



Figura 4. *Chaetoceros* sp (http://www.mbari.org/staff/-conn/botany/phytoplankton/dia_Chaetoceros_sp.htm)

theca closterium con una abundancia entre 500,000 y 750,000 cel/l junto con *Protoperdinium* sp y *Ceratium* sp (Fig. 6). Por tanto, hubo una tendencia variable de composición y abundancia entre especies dominantes a lo largo del tiempo y el espacio.

Los estudios sobre florecimientos algales nocivos en las costas de México han estado enfocados principalmente a conocer las especies del fitoplancton y su posible toxicidad una vez que el evento se ha desarrollado y se ha extendido. Sin embargo, no existe hasta ahora un modelo operacional que ayude a un posible estado de alerta de un florecimiento nocivo y que indique alguna vía para su posterior mitigación, incluso se ha propuesto cuantificar las concentraciones de nutrientes y su posible relación con la ocurrencia de florecimientos algales nocivos. La realidad es que la heterogeneidad de las características de los organismos implicados hace francamente difícil que tal mecanismo pueda existir. Tanto los ciclos vitales como las características fisiológicas, la conducta, tamaño y la densidad son muy variables con las especies y grupos taxonómicos, por lo cual resulta esperable que los mecanismos físicos, químicos y biológicos que regulan las proliferaciones de los distintos organismos sean también diferentes.

Los requerimientos nutritivos de los organismos responsables de los episodios nocivos son muy variados. Las diatomeas y algunos flagelados son autótrofos, necesitando luz y nutrientes inorgánicos. La mayor parte de los flagelados,

sin embargo, presentan una nutrición mixótrofa o heterótrofa (Gaines y Elbrächter, 1989).

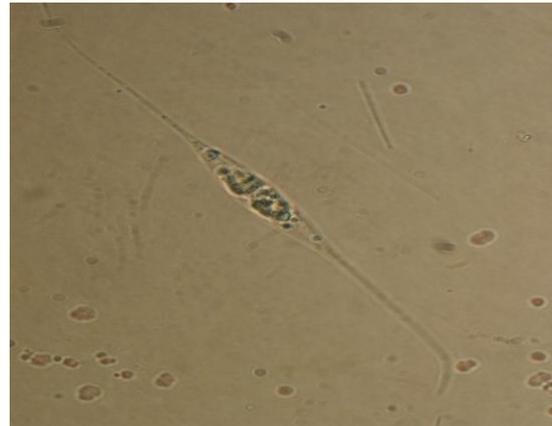


Figura 5. *Cylindrotheca closterium* (Fotos de Alberto Rosado/2011)

La dinámica de las masas de agua, dada la limitada capacidad de movimiento de los organismos fitoplanctónicos, tiene siempre una gran importancia tanto para el desarrollo de sus poblaciones como para su dispersión o acumulación. Sin embargo, su acción depende mucho de la movilidad de los organismos ya que aquellos que son móviles pueden neutralizar, en cierta medida, los movimientos descendentes, mientras que los que no la poseen están desprovistos de esa capacidad. Aunque ambos tipos de organismos proliferan frecuentemente en picnoclinas, este aspecto vuelve a marcar una gran diferencia ente los dinoflagelados, que son móviles, y las diatomeas, que no lo son.

Los estudios sobre florecimientos algales nocivos en las costas de México han estado enfocados principalmente a conocer las especies del fitoplancton y su posible toxicidad una vez que el evento se ha desarrollado y se ha extendido. Sin embargo, no existe hasta ahora un modelo operacional que ayude a un posible estado de alerta de un florecimiento nocivo y que indique alguna vía para su posterior mitigación, incluso se ha propuesto cuantificar las concentraciones de nutrientes y su posible relación con la ocurrencia de florecimientos algales nocivos. La realidad es que la heterogeneidad de las características de los organismos implicados hace francamente difícil que tal mecanismo pueda existir.

Tanto los ciclos vitales como las características fisiológicas, la conducta, tamaño y la densidad son muy variables con las especies y grupos taxonómicos, por lo cual resulta esperable que los mecanismos físicos, químicos y biológicos que regulan las proliferaciones de los distintos organismos sean también diferentes.

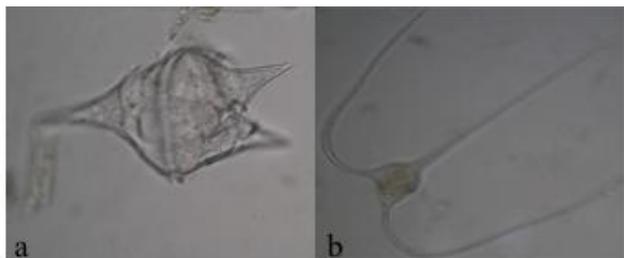


Figura 6. a) *Protoperidinium* sp b) *Ceratium* sp (Fotos de Alberto Rosado/2011)

Los requerimientos nutritivos de los organismos responsables de los episodios nocivos son muy variados. Las diatomeas y algunos flagelados son autótrofos, necesitando luz y nutrientes inorgánicos. La mayor parte de los flagelados, sin embargo, presentan una nutrición mixótrofa o heterótrofa (Gaines y Elbrächter 1989). La dinámica de las masas de agua, dada la limitada capacidad de movimiento de los organismos fitoplanctónicos, tiene siempre una gran importancia tanto para el desarrollo de sus poblaciones como para su dispersión o acumulación. Sin embargo, su acción depende mucho de la movilidad de los organismos ya que aquellos que son móviles pueden neutralizar, en cierta medida, los movimientos descendentes, mientras que los que no la poseen están desprovistos de esa capacidad. Aunque ambos tipos de organismos proliferan frecuentemente en picnoclinas, este aspecto vuelve a marcar una gran diferencia entre los dinoflagelados, que son móviles, y las diatomeas, que no lo son.

Los mecanismos que favorecen la acumulación de las diatomeas, por tanto, no son los mismos que los que se dan en diversas especies de dinoflagelados, que tiene una capacidad natatoria alta (Fraga *et al.*, 1989). Los flagelados fitoplanctónicos que, en su inmensa mayoría son fototácticamente positivos, tienden a acumularse en zonas de hundimiento de agua, como frentes,

mientras que las diatomeas lo hacen en picnoclinas, ya que estas restringen el intercambio turbulento de las capas de agua superficiales con las profundas (Franks, 1992).

Se han propuesto diversos mecanismos de los efectos de la dinámica oceanográfica en los episodios tóxicos. Un modelo conceptual que se repite frecuentemente en proliferaciones de dinoflagelados es el sugerido por Donahay y Osborn (1997), donde menciona que el desarrollo de la población más importante se produce en una picnoclina presente en la plataforma y que puede extenderse en un área muy amplia. Los organismos producidos en esa área restringida verticalmente, son después arrastrados contra la costa por desplazamiento de las masas de aguas en esa dirección. El apilamiento de agua en la costa produce una corriente descendente de ésta que puede ser neutralizada por la natación en dirección ascendente de los flagelados, que por tanto se van acumulando en esa zona. Este tipo de desarrollo es atribuido a proliferaciones con efectos negativos.

La marea roja es un evento cíclico que aparece de manera imprevisible. En el caso de Yucatán, se desconoce aún cuáles son los mecanismos que desencadenan su aparición. Si bien hay programas gubernamentales de contingencia, aún existe mucha desinformación. Los efectos secundarios de la presencia de marea roja se traducen en mortandades y desplazamientos de organismos de importancia comercial, como peces, el pulpo, la langosta y el pepino de mar. No se han documentado casos de intoxicación por ingestión en personas en la costa de Yucatán. Aún es necesario establecer un programa permanente de educación ambiental que permita mantener informado al público en general pero sobre todo a los pescadores quienes resienten gravemente la presencia de marea roja debido a las pérdidas económicas por las bajas capturas de organismos comerciales.

Referencias

Balech, E. Introducción al fitoplancton marino.

- Eudeba Manuales. Enero 1978
- Barsanti, I y P. Gualtieri. 2006. CRC.Taylor and Francis, Group. USA. 301 pp.
- Del Valle, L. 2009. Marea roja: Un fenómeno para investigar Razones Científicas
- Diario de Yucatán. 2011. (<http://www.yucatan.com.mx/20110822/nota-10/-164-507-reportan-marea-roja-a-la-baja-en-la-costa-yucateca.htm>)
- Donahay, P.L y Osborn, T.R. 1997. Toward a theory of biological-physical control of harmful algal bloom dynamics and their impacts. *Limnol. Oceanogr.* 42: 1283-1296
- Fraga, S., D.M. Anderson, I. Bravo, B. Reguera, K.A. Steidinger y Yentsch, C.M. 1988. Influence of upwelling relaxation on dinoflagellates and shellfish toxicity in Ría de Vigo, Spain. *Est. Coast. Shelf. Sci.* 2: 349-361
- Franks, P.J.S. 1992. Sink or swim: accumulation of biomass at fronts. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 8: 1-12
- Graham L y Wilcox, I. 2000. *Algae*. Prentice Hall, Inc. USA. 640 pp.
- Gaines, G. y M. Elbrächter. 1989. Heterotrophic nutrition. pp. 224-268. En: F.J.R. Taylor (ed.). *The biology of dinoflagellates*. Blackwell, Oxford.
- Llorente I.M. y Cereceda, I. 2001. *Dinoflagelados. Micropaleontología 2000-2001*. Universidad de Salamanca USAL (Ed.) España 12p.
- SIPSE 2011. <http://sipse.com/noticias/119167-yucatan-marea-roja-problema.html>
<http://www.yucatan.com.mx/20110830/nota-10/167874-continua-la-marea-roja-con-indices-bajos-en-yucatan.htm>

Silvia Hernández Betancourt¹, Francisco Serrano Flores², Lizbeth Chumba Segura¹, Celia I. Sélem Salas¹ y Juan Chablé Santos¹.

¹Cuerpo Académico de Bioecología Animal, Departamento de Zoología y ² Licenciatura en Biología, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias – UADY

Introducción

Los tiburones, rayas y quimeras son criaturas marinas fascinantes que se encuentran en los mares desde el Período Devónico de la era Paleozoica, hace aproximadamente 400 millones de años. Estos animales desde su aparición presentaron adaptaciones biológicas relevantes, como los sistemas sensoriales especializados de alta eficiencia para localizar presas y una exitosa biología reproductiva que incluye la fertilización interna y el desarrollo embrionario ovíparo, ovovivíparo y vivíparo. Desde su origen han sido depredadores pelágicos que compartieron a través del tiempo con otros grandes depredadores, como los reptiles Mesosaurios del Mesozoico y actualmente con las ballenas dentadas. Actualmente, es preocupante el abuso de las pesquerías sobre sus poblaciones, aunado al gran desconocimiento de su biología y características demográficas (lento crecimiento, madurez sexual tardía, producción limitada de crías y marcada longevidad) han ocasionado un manejo pesquero inadecuado y una disminución drástica de sus poblaciones. "Tiburones", "cazones", "rayas" y "quimeras" pertenecen al grupo de los condricios o "peces cartilaginosos", porque su esqueleto está formado por cartílago. Los tiburones y rayas pertenecen también al grupo de los elasmobranquios porque presentan cinco aberturas branquiales a los lados de la cabeza. Su piel está cubierta por numerosos dentículos dérmicos que se pueden sentir cuando se pasa la mano de la cola hacia la cabeza, además, no poseen vejiga natatoria. Estas características los hacen diferentes a los "peces óseos" o teleósteos.

Características de los tiburones

El cuerpo de los tiburones es fusiforme y fuertemente musculoso. Se divide en tres regiones: cabeza, tronco y cola. La cabeza es triangular, con una saliente anterior llamada morro, los ojos

son laterales y poseen membrana nictitante, algunas especies pueden presentar un orificio denominado espiráculo detrás de los ojos. La boca se encuentra en posición ventral y está formada por potentes mandíbulas y varias hileras de filosos dientes que siempre se están regenerando. A los lados de la cabeza se encuentran las aberturas branquiales, que pueden ser de cinco a siete, según la especie. Sobre ésta, en la parte dorsal y ventral, se presenta el sistema de Lorenzini que forma parte del sistema de poros de la línea lateral, que se prolonga sobre los costados del cuerpo.

Este sistema percibe presión y movimientos de otros organismos en el agua. En el tronco se distribuyen las aletas que son dos dorsales y una caudal que se divide en dos lóbulos, el superior de mayor tamaño que el inferior. En la parte ventral se encuentran las aletas pares, por detrás de la cabeza se presentan dos aletas pectorales y en la parte posterior ventral dos pélvicas que en la mayoría de las especies marcan dimorfismo sexual y, por último una anal cercana a este orificio. Los tiburones no tienen costillas y los músculos están fuertemente unidos a la piel. No presentan vejiga natatoria, pues su principal órgano de flotación es el hígado que está saturado de aceite. En el aparato genitourinario se produce la urea que al pasar a la sangre retiene y fija el agua, por lo que no necesitan ingerir más.

Consideraciones biológicas

En cuanto a los hábitos de alimentación de las especies, algunos pueden ser herbívoros, pero la mayoría de las especies son carnívoras depredadoras con espectros alimenticios amplios tendientes a aprovechar las presas más abundantes del medio ambiente, sin embargo, hay plancófagos como el tiburón ballena que es el más

grande de los tiburones, mide más de 12 m. En aspectos reproductivos se puede presentar dimorfismo sexual externo, ya que en algunas especies los machos presentan las aletas pélvicas modificadas como gonopterigios o “claspers” que son órganos para introducir el semen a la cloaca de las hembras. Las especies de condriictios son reconocidas por su amplio rango de estrategias de reproducción, usualmente se clasifican como especies ovíparas (sin aletas pélvicas modificadas) o vivíparas de estas últimas se presentan las aplacentarias (ovovivíparas) y las placentarias (verdaderas vivíparas) (Tabla 1).

Las especies aplacentarias presentan oofagia que consiste que los embriones más desarrollados comen otros huevos o embriones que están en crecimiento, lo que demuestra canibalismo intrauterino (Conrath, 2005). Es relevante que la viviparidad de los tiburones es semejante a la de los mamíferos, ya que el oviducto de las hembras hace las veces del útero alojando y alimentando a los embriones. La incubación de los embriones en general dura de 10-16 meses (Tabla 1) y al nacer, las crías requieren de zonas de avivamiento y crianza, como las lagunas costeras o marismas que les proveen de refugio y alimento, por lo que ésta es una implicación importante en el manejo de los tiburones. El tamaño de camada depende de cada especie pero puede haber de 6-50 embriones aunque en promedio son de 13 -15 (Tabla 1). La talla al nacer es aproximadamente de la cuarta parte o menos de la talla de los adultos. La madurez sexual se alcanza aproximadamente en dos años, pero también depende de la talla que alcancen como adultos.

La ecología de los tiburones es poco conocida, en general su hábitat tiene un amplio espectro dado que la mayoría de los especies presentan hábitos alimenticios variados que cambian durante el crecimiento y en ocasiones con una gran capacidad de desplazamientos migratorios. Es común que en los tiburones exista segregación sexual y de tallas, con los adultos de diferentes sexos reuniéndose en las épocas de apareamiento a las hembras y migrando posteriormente a zonas de avivamiento y crianza alejadas de los

demás adultos para evitar la depredación y el canibalismo. Existen especies demersales ó ventónicas, (*G. cirratum*, *S. tiburo*, *R. terranova*), demersales y pelágicas de distribución costera (*C. plumbeus*) y el tiburón limón (*N. Brevirostris*). Como especies pelágico-costeras se incluye al tiburón de puntas negras (*C. limbatus*), y el tiburón maromero (*C. brevipinna*). Los tiburones sedoso y negrillo (*C. obscurus*), la tintorera (*G. cuvieri*), la cornuda común (*S. lewini*), y la cornuda gigante (*S. mokarran*). Esta división es arbitraria y pueden encontrarse en más de un hábitat. En general el papel ecológico de los tiburones es el de regular las poblaciones de otras especies marinas.

Pesquería de tiburones

México cuenta con alrededor de 80 especies de tiburones (Applegate *et al.*, 1979), de las que 33 especies clasificadas en 10 familias, están presentes en las aguas del Golfo de México y el Caribe. En Yucatán, la pesquería de tiburón comprende 27 especies (De Anda Fuentes, 2001), integradas en cinco ordenes que comprenden nueve familias subdivididas en 12 géneros. La familia más diversa es Carcharinidae al igual que el género *Carcharinus* (Tabla 1). Las más frecuentes en la región son *Carcharhinus falsiformis* (tiburón sedoso), *Sphyrna tiburo* (tiburón martillo), *Mustelus norrisi* (tiburón mamón) y *Rhizoprionodon terranova* (tiburón de ley).

Estas cuatro especies representan el 65.5% del total de las capturas pesqueras. Hay cinco zonas de pesca en la costa yucateca que van de oeste (Celestún) a este (Río Lagartos), encontrándose las mayores pesquerías en la zona oeste. En general, las especies de tiburones se dividen vulgarmente en dos categorías inexactas, cazones y tiburones, impuestas principalmente por factores económicos (que definen dos precios diferentes). Esta categorización tiene repercusiones en la calidad de datos estadísticos pesqueros disponibles sobre sus capturas y, por lo tanto en la utilidad de dicha información para análisis de conservación biológica.

Los cazones son aquellos tiburones menores de

Tabla 1. Especies de tiburones presentes en la Península de Yucatán, algunas características reproductivas y estatus de conservación

Especie	L T max (m)	ER	Talla 1ª madurez	Tamaño camada (crías)	Periodo de Gestación (meses)	Talla nacimiento (cm)	EC
<i>Ginglymostoma cirratum</i> **	3-4	V	2.35 h 2.25 m	28-40	-----	0.28	BR
<i>Mustelus canis</i> ***	1.52	V	90 h 82 m	4-20	10	0.28-0.39	BR
<i>Carcharhinus acronotus</i> *	1.64	O	1.02 h	3-6	9-12	0.45-0.50	AMV
<i>C. brevipinna</i> *	2.25	V	1.80 h 1.70 m	3-15	12-15	0.60-0.75	BR
<i>C. falsiformis</i> ***	3.30	V	2.25	12	12	0.76	BR
<i>C. leucas</i> **	3.40	V	2.30 h 2.26 m	13	11-12	0.60-0.75	BR
<i>C. limbatus</i> *	2.70	V	1.62 h 1.36 m	6-12	10-11	0.60	BR
<i>C. obscurus</i> *	3.65	V	3.00 h 2.80 m	14	12	1.00	AMV
<i>C. plumbeus</i> *	2.45	V	183 h 178 m	8-12	11-12	0.56-0.75	BR
<i>Rhizoprionodon trranovae</i> ***	1.10	V	0.85 h 0.80 m	4-7	11	0.22-0.35	BR
<i>Galeocerdo cuvieri</i> *	5.50	O	2.50 h 1.80 m	30-50	13-16	0.51-0.85	BR
<i>Sphyrna lewini</i>	3.09	V	2.50 h 1.80 m	30	12	0.49	AMB
<i>Sphyrna mokkarran</i>	5.60	V	2.70 h 2.50 m	40	14	0.50-0.70	SAM
<i>Sphyrna tiburo</i> ***	1.10	V	0.84 h 0.76 m	4-12	12?	0.35-0.40	SAM

*frecuencia de captura, LTmax = Longitud Total máxima, h=hembra, m=macho, ER= estrategias reproductivas, EC= estatus de conservación, V= vivíparo, O= ovovivíparo, BR= bajo riesgo, AMV= amenazado vulnerable, SAM= seriamente amenazado, AMG= amenazado globalmente

1.5 m de longitud, los cuales son generalmente destinados únicamente al consumo humano. Es importante resaltar que dentro de esta categoría se reportan tanto especies que nunca crecen más allá de 1.5 m de longitud, como organismos juveniles de especies que, cuando adultos, sobrepasan los 2 o 3 m de longitud (Tabla 1). Esto dificulta evaluar el impacto que se produce en las poblaciones al no tener conocimiento del impacto sobre los juveniles de las especies de tiburones.

Los tiburones, generalmente incluyen a organismos que sobrepasan los 1.5 m de longitud. El animal es utilizado íntegramente, tanto su carne es comercializada en secosalado para consumo humano como “bacalao”, o en filete congelado como cazón. Se procesan sus pieles para peletería, sus aletas se exportan para elaborar la tradicional sopa china de aleta de tiburón, y generalmente los desperdicios, incluyendo al hígado se utilizan para elaborar harinas de pescado; también este se procesa para extraer aceite. Es relevante señalar que las aletas de tiburón tienen un costo muy elevado en el mercado, en el 2006 un kilogramo de aletas de tiburón tenía un costo de \$ 1 000 (pesos mexicanos). La pesquería de tiburón alcanzó su

máxima producción (10 000 toneladas) en el Golfo de México entre 1984 y 2000. A partir de este año la pesquería ha disminuido a menos de 5000 toneladas, donde aproximadamente el 50% de los tiburones capturados pescados son juveniles o hembras preñadas.

Problemática

Las poblaciones de tiburón en general están amenazadas. Si se consideran aspectos de su biología reproductiva, como son su viviparidad, la problemática es mayor ya que las hembras preñadas son sacrificadas con los embriones que gestan en su interior, aunado a que tanto los machos como las hembras presentan un crecimiento lento y una madurez sexual tardía. Las crías requieren de lugares como lagunas costeras o marismas donde encuentren refugio y alimento y, actualmente estos ecosistemas se han modificado y sin estos lugares, las crías son fácilmente depredadas por animales más grandes.

En cuanto a las pesquerías, se capturan animales considerados como cazones y junto con éstos se incluyen juveniles de varias especies (aproximadamente el 50% de la pesquería total) que no

han alcanzado la madurez sexual y por lo tanto, no llegarán a agregar nuevos individuos a la población. Por otro lado, el alto costo de las aletas de tiburón hace que se practique el “aleteo”. Esta práctica consiste en capturar tiburones y amputarles solamente las aletas y retornar al tiburón vivo hacia el mar provocando su muerte al no poder nadar y respirar adecuadamente. A partir de 2007, se estableció la Norma Oficial Mexicana 029-PESC-2006, que prohíbe esta práctica, sin embargo aún se sigue realizando pero en forma clandestina. Es relevante comentar la falta de información sobre aspectos básicos de taxonomía, biología y estrategias de biología de la conservación en los tiburones de la costa norte de la Península de Yucatán. Si bien existen algunos estudios aislados, aun es necesario actualizar y acrecentar el conocimiento biológico sobre las especies. En contraste, existe un extenso trabajo que se ha desarrollado en la Península de Baja California donde se han realizado catálogos, tesis y artículos científicos referentes a la biología y pesquerías de tiburón. En la Península de Yucatán, el abuso de la pesquería, la falta de información biológica y los impactos ambientales en ecosistemas marinos son preocupantes, y por lo tanto es necesario abordar la problemática lo más pronto posible.

Referencias

- Aguirre, G. B., A. Medina Quej y López, G A. Análisis de la pesquería artesanal de cazón de ley (*Rhizoprionodon terraenovae*, Richardson 1836) en Campeche, México. Instituto Tecnológico de Chetumal, Instituto Tecnológico del Mar, Campeche. www.mda.cinvestav.mx/eventos/coastfish. consultado 8 de febrero 2012.
- Applegate, S.P., Espinosa, L., Menchca y Sotelo, F. 1979. Tiburones mexicanos. Subsecretaría de Educación e Investigación Técnica. Dirección General de Ciencia y Tecnología del Mar, 146 pp.
- Buenfil, S. R. 1997. Estado del Conocimiento de los tiburones del Golfo de México y el Caribe. pp. 333-356. In. Análisis y diagnóstico de recursos pesqueros críticos del Golfo de México (eds. Flores Hernández, P. Sánchez Gil, J.C., J. C. Seijo y F. Arreguín, Sánchez) Univ. Autónoma de Campeche. Epomex. Serie científica 7 496 pp.
- CONAPESCA-INP, 2004. Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines en México. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca e Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Mazatlán, México. 80 p.
- Conrath, C. 2005. Reproductive Biology. Pp. 103-127. In Management techniques for elasmobranch fisheries (Eds. J. A. Musik y R. Bonfil) FAO Fisheries Technical Paper No. 474. Rome 251 pp.
- De Anda Fuentes, D.M. 2001. Los tiburones de la plataforma Yucateca: Composición específica y algunos aspectos ecológico-pesqueros. Tesis de Maestría CINVESTAV, Mérida. 114 pp.

¿Por qué hay organismos que brillan en la oscuridad?: Bioluminiscencia en la naturaleza

Roberto C. Barrientos Medina

Cuerpo Académico de Ecología Tropical, Departamento de Ecología Tropical, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias – UADY

¿Sabías que en la naturaleza hay organismos que brillan en la oscuridad?

Este fenómeno es conocido como *bioluminiscencia*, y es la capacidad de producir luz, ya sea por células especiales corporales (bioluminiscencia intracelular), por reacción química fuera del organismo (bioluminiscencia extracelular) o a través de órganos especializados (fotóforos) conectados al sistema nervioso donde se encuentran organismos simbiotes (por lo común bacterias) que son los verdaderos responsables de la producción de luz. La bioluminiscencia no está limitada a una clase particular de organismos. Se encuentra en los más sencillos (bacterias, protistas) y en algunos de los más complejos (como equinodermos y peces) (Figuras. 1, 2 y 3).

Aunque parece estar muy difundida en el mar y más limitada en los ambientes terrestres. En cualquier caso, para producir bioluminiscencia se produce una reacción química entre un sustrato proteínico (*luciferina*) y una enzima (*luciferasa*), requiriéndose como catalizador la presencia de oxígeno y, en algunos casos, un ión como el calcio. La unión de estos elementos da lugar a una *fotoproteína*, que es la responsable de la producción de luz. Como la estructura de la luciferina varía entre organismos, esto ocasiona que las tonalidades producidas también varíen. Por ejemplo, en el caso de los organismos marinos, la luz generada se encuentra entre los tonos verde-azulados.

¿Pero de qué le sirve a un organismo ser bioluminiscente?

Las funciones son variadas y pueden utilizarla para alimentarse, reproducirse, comunicarse o para defenderse. No hay una única función relacionada con esta producción de luz. Incluso, las investigaciones revelan aplicaciones interesantes. Por ejemplo, bacterias bioluminiscentes son

usadas para detectar compuestos químicos de características tóxicas. También se han usado bacterias como *biosensores*, que permiten evaluar el daño ocasionado al material genético (DNA) por algunas sustancias tóxicas y, más aún, se han empleado como reparadoras del material genético dañado por la exposición a radiación ultravioleta). Así que, la próxima vez que vayas a la playa y por la noche veas luces extrañas en el mar, no te alarmes. Muy probablemente se trata de alguna microalga (dinoflagelado), un peine de mar (ctenóforo), un agua mala (medusa) o algún otro animal marino que, al momento de realizar alguna de sus funciones vitales, es bioluminiscente.



Figura 1. Microalgas bioluminiscentes del género *Noctiluca*:http://jralonso.es/files/2010/08/Bio_Luminescence_T hu_423.jpg



Figura 2. Hongo del género *Mycena* http://1.bp.blogspot.com/_uvLF5d7yLs/SstVWmUZwHI/AAAAAAAAABFU/r nky9LK3Yt0/s320/Mycena_fake_bioluminescence.jpg



Figura 3. Medusas bioluminiscentes http://www.ojocientifico.com/sites/www.ojocientifico.com/files/imagecache/completa/480E23741_0.jpg

XX Congreso Nacional de Inmunología, ciudad de Mérida, Yucatán, 17-21 de abril, 2012. <http://www.-congresosmi2012.com.mx/>

XLVII Congreso Nacional de Entomología. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla Complejo Cultural Universitario, Puebla, México. 20 a 23 de mayo de 2012. <http://sme.colpos.mx/congreso.html>

Congreso Internacional de Arrecifes Coralinos. 9-13 Julio, 2012. Cairns, Australia. <http://lasciencias-delmar.blogspot.mx/2011/02/12th-international-coral-reef-symposium.html>

Congreso Puebla Veterinaria Internacional 2012. Puebla, 26, 27, 28 Julio. <http://www.fedmvz.com/-2012/2807.html>

Congreso Mundial de Conservación UICN. Jeju, Corea, 6-13 Septiembre 2012. <http://www.iucnworld-conservationcongress.org/index.cfm>

6° Congreso Internacional de Ecología del Dosel. Oaxaca, México. 24-27 de Octubre 2012. <http://intranet.ciidiroaxaca.ipn.mx/eventos/canopy2012/>

Congreso de la Sociedad Mesoamericana de la Biología y para la Conservación 24-28 de octubre 2012 Panamá. <http://smbcpanama.blogspot.mx/2012/01/organizando-el-xvi-congreso-de-la-smbc.html>

Congreso Nacional de Ictiología San Cristóbal de las Casas, Chiapas, 29 de octubre-2 de noviembre 2012. <http://www.sociedadictiologicamexicana.com/>