



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
DOCTORADO EN CIENCIAS EN BIODIVERSIDAD Y
CONSERVACIÓN

TESIS DOCTORAL

**ESTUDIO DEL CONFLICTO HUMANO-SERPIENTE Y
LA CONSERVACIÓN DE LA CASCABEL *Crotalus atrox*
EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA BARRANCA DE
METZTITLÁN, HIDALGO**

**Para obtener el grado de
Doctor en Ciencias en Biodiversidad y Conservación**

PRESENTA

M. en C. Leonardo Fernández Badillo

Director (a)

Dra. Iriana Leticia Zuria Jordan

Codirector (a)

Dr. José Jesús Sigala Rodríguez

Comité tutorial

Dr. Gerardo Sánchez Rojas

Dr. José Gamaliel Castañeda Gaytán

Mineral de la Reforma Hgo., México., octubre 2022



Mineral de la Reforma, Hgo., a 19 de octubre de 2022

Número de control: ICBI-AAB/677/2022

Asunto: Autorización de impresión.

MTRA. OJUKY DEL ROCIO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

El Comité Tutorial de la tesis del programa educativo de posgrado titulado “**Estudio del conflicto humano-serpiente y la conservación de la cascabel *Crotalus atrox* en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo**”, realizado por el sustentante **Leonardo Fernández Badillo** con **245597** perteneciente al programa de **DOCTORADO EN CIENCIAS EN BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN**, una vez que ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 110 del Reglamento de Estudios de Posgrado, tiene a bien extender la presente:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Por lo que el sustentante deberá cumplir los requisitos del Reglamento de Estudios de Posgrado y con lo establecido en el proceso de grado vigente.

Atentamente
“Amor, Orden y Progreso”

El Comité Tutorial


Dra. Iriana Leticia Zuria Jordán
Vocal




Dr. Gerardo Sánchez Rojas
Presidente


Dr. José Jesús Sigala Rodríguez
Secretario


Dr. José Gamaliel Castañeda Gaytán
Suplente

ROP/CIAF

Ciudad del Conocimiento
Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5
Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma,
Hidalgo, México. C.P. 42184
Teléfono: +52 (771) 71 720 00 ext. 6640, 6642
Fax 2112
aab_icbi@uaeh.edu.mx

Dedicatoria

A mis padres Marina Badillo Parra e Isidoro Fernández Torres, por darme
todo, incluyendo las alas.

A mi chaparra hermosa Nallely Morales Capellán, por volar conmigo.

A las serpientes por todo lo que me han dado.

A todas las personas que trabajan para proteger a las serpientes.

A los que han cambiado su forma de ver el mundo, guardaron el machete
y dejaron ir con vida a las serpientes.

A los que faltan por sumarse.

Agradecimientos

A la M. en C. Nallely Morales Capellán, mi guerrera para todas las batallas, mi hogar, mi refugio, mi compañera, "mi cómplice y mi todo". Hay tanto que agradecerte, solo espero que el corazón y la vida alcancen para amarte. Gracias por estar presente, por alentarme y ayudarme a seguir, por amarme, enseñarme y sostenerme cuando es necesario y por alumbrarme todos los días, juntos hasta "pasitas". Sin tu apoyo y respaldo, muchas cosas de mi vida personal y académica, no serían lo que son ahora, te amo chaparrita.

A mis directores de tesis, Dra. Iriana Zuria y Dr. Jesús Sigala-Rodríguez, por guiarme y acompañarme en esta etapa tan importante de mi formación académica. Iriana, gracias por toda la confianza y apoyarme en todo, por la amistad, el cariño y por ser además de una excelente directora, una persona maravillosa, fue un placer enorme ser tu estudiante. Jesús, contar con tu respaldo en este proyecto y en tantas otras cosas ha sido una fortuna, pero haber estrechado el lazo de amistad contigo, es uno de los grandes frutos de esta etapa, te quiero y admiro mucho.

Al Dr. Gerardo Sánchez-Rojas y Dr. José Gamaliel Castañeda-Gaytán, miembros del comité de tesis, agradezco todo el conocimiento, tiempo y experiencia que compartieron conmigo y valoro enormemente su amistad y saber que cuento con ustedes tanto en lo académico, como en lo personal.

Al CONACYT por la beca 371195 otorgada para la realización de este trabajo.

A mis papás Marina Badillo Parra e Isidoro Fernández Torres, soñé como me educaron y volé en consecuencia, gran parte de lo que soy y todo lo que logro lleva mucho de ustedes, como si todavía me llevaran de la mano. Gracias por todo lo que me han dado, los amo.

A mis hermanos Claudia Niedzielski Fernández y Alejandro Fernández Badillo, así como a mis cuñados John Niedzielski y Gabriela Inclán, a quienes amo profundamente, gracias por estar pendientes, y brindarme su cariño y apoyo, aun cuando la distancia a veces no permite tenerles más cerca.

A Guillermo Sánchez-Martínez, por creer en mí, por regalarme tu tiempo, conocimiento y compañía allá en el monte y por ser uno de mis más grandes maestros, has sido muy importante para mí y sin tu ayuda como dices tú, hubiera estado muy camionetas lograr todo esto.

A toda la familia Sánchez-Cabrera (Anastacia Cabrera, Guzmán, Dary Sánchez Cabrera, Keneth Sánchez, Max Sánchez Cabrera, Guillermo Sánchez Cabrera, Yolanda Moreno, Jaz Barrios Balderrama, Mario Sánchez, Josefina Guzmán), mi segunda familia, por respaldarme y recibirme

como parte de ustedes, por integrarse al proyecto y contribuir a que otros se sumaran, muchas gracias por todo.

A todas las personas que decidieron no matar a las serpientes, dedicaron su tiempo para capturarlas ilesas y donarlas para poder realizar este estudio, y les otorgaron también un nombre o les heredaron el suyo, ustedes fueron el inicio del cambio en la Reserva (Pablo Mérida, Caín Montañez, Noe Montañez, Epifaneo Montañez, Cornelio Cruz Ángeles (Concho), Francisco Hernández Hernández (Chompiras), Refugio Hernández (Buyo).

Todo mi respeto y admiración a las personas que conforman las brigadas comunitarias de rescate y conservación de serpientes de las tres ANP de Hidalgo, su ejemplo y trabajo diario en pro de las serpientes, ha sido uno de los resultados más importantes y me honra poder trabajar hombro a hombro con ustedes.

A "los Marianos" sobrenombre que con mucho cariño adaptamos para referirnos a toda la familia de Mariano Ramírez en la localidad de Adjuntas, Pacula (Mariano Ramírez, Mariano Ramírez hijo, Adelina Ramírez, Sindy Ramírez, Antonio Melo, Andrea Ramírez, Don Teo Melo que en paz descanse, David Melo), son un gran ejemplo de monitoreo biológico comunitario y son personas maravillosas que agradezco haber conocido y contarlos entre mis seres queridos.

A todo el equipo del Hospital de Especialidades Veterinarias San Jerónimo, especialmente a Ricardo Czapplewski, por tu amistad y apoyo incondicional y por brindarnos todas tus capacidades y todo lo que estuvo en tus manos para que el implante de transmisores se realizará con la mayor ética y profesionalismo posible. Asimismo, gracias a Arturo González Betancourt, Juan Cortes García y María Camila Gaviria Veléz, por asegurarse de que los procedimientos quirúrgicos de las serpientes fueran un éxito y que las serpientes pudieran volver sanas y salvas al monte.

A todos los que me acompañaron a monitorear a las cascabeles y vivieron en carne propia lo extenuante que resultó andar buscando a esas serpientes, Nallely Morales Capellán, Guillermo Sánchez Martínez, Ángel Aranda Trejo, Paola Lazcano Juárez, Juan Carlos Rosales de la Fuente, Alonso Sánchez Arenas, Eric Acoltzin, Cesar Hernández García, Cristopher Niedzielski, Xóchitl Santiago Bautista, Daniel Damián Palafox, Miranda Sánchez Moreno, Maximino Sánchez Cabrera, Cynthia Meléndez, Guillermo Sánchez Cabrera, Iriana Zuria, Jesús Sigala Rodríguez, Antonio Islas, Amellali Gutiérrez Carpio, Erna Medina, Juan José Aguillón, Edwin Luna, Cristian Raúl Olvera Olvera, Saul Domínguez Guerrero, José Luis Ugalde Trejo, Nancy Vargas Gutiérrez, Efraín Miguel Domínguez, Fausto Méndez de la Cruz, Peter Heimes, Jocelyn Medina Sánchez, José Reyes, Cesar Rocha, Julián Mejía, Tania Coronado, Mildred Aurora. Una disculpa enorme si omití a alguien.

A todo el personal de la CONANP de las tres ANP de Hidalgo estudiadas, particularmente al Ing. Edgar Hugo Olvera Delgadillo, Greisy Jocelyn Flores Sierra, Mariana Burgos, Alberto Azpeitia, Karina Calva Soto, Verónica Vázquez, gracias por todo el apoyo y respaldo institucional y por sumarse a este proyecto, su participación fue crucial para lograr la capacitación de los pobladores.

A todos los voluntarios, practicantes, servicio social y demás allegados culturales del Herpetario X-Plora Reptilia, que nos han ayudado incondicionalmente a Nalle y a mí en todas las actividades del herpetario, mantienen a flote este proyecto y cuidan de nuestros queridos ejemplares del herpetario cuando nosotros no estamos, gracias por todo (Xóchitl Santiago Bautista, Uriel Efraín Miguel Domínguez, Ángel Aranda Trejo, Paola Lazcano Juárez, Amayrani E. Trejo Montero, Daniel Damián Palafox, Alejandra Escalona Munguía Escalona, Erna Medina, Juan José Aguillón, Edwin Luna, Amellali Gutiérrez Carpio, Francisco Ramírez Piña, Flavio Emir Lauro Soni, Aranza Johana Olvera Juárez, Pablo Jesús Salvador Morales, Yahir León Estrada, Eduardo Veloz Badillo, Ricardo Marino Pérez Flores, Wendy Rociles Fonte, Edwin Pérez Bautista, Lizbeth Hernández Tiburcio, Roberto Daniel Arellano Pinacho, Víctor Antonio Cruz García, Jorge Cortes Flores, Servando García, Iyari Montserrat Martínez, Blanca Alicia Santoyo Cerón, Mayte Luz Parada, María Mendoza Martínez, Jaqueline López Ortiz, Laura Pérez Castillo, Liset Castro, Fernanda Gottesman)

Al M. en C. Iván Villalobos por sus consejos y ayuda en las fases iniciales del proyecto y al Biól. Héctor Ávila por la donación de los carretes de hilo y comentarios relacionados acerca del del uso del hábitat de las cascabeles.

A todos mis amigos, compañeros, conocidos, profesores, colegas, estudiantes y todas las personas que me apoyaron de una u otra forma durante el proyecto y a los que han influido en mi vida y han moldeado lo que soy.

Índice

Resumen	1
Introducción general.....	2
Justificación general	6
Literatura citada	7
Capítulo I: Panorama general del conflicto humano-serpiente	11
Artículo I: Revisión del conflicto entre los seres humanos y las serpientes en México: origen, mitigación y perspectivas	11
Capítulo II. La translocación como medida de mitigación del conflicto humano-serpiente en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán.....	34
Introducción	35
Objetivos.....	37
Materiales y métodos generales	38
Descripción del área de estudio	38
Descripción de la especie de estudio.....	39
Literatura citada	42
Artículo II: Home range and microhabitat use of resident and translocated individuals of the snake <i>Crotalus atrox</i> in the Biosphere Reserve Barranca de Metztitlán, Hidalgo, Mexico.....	45
Artículo III: Patrones de movimiento y actividad en ejemplares residentes y translocados de la serpiente de cascabel <i>Crotalus atrox</i> en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo.	70
Capítulo III: La educación ambiental como estrategia para la mitigación del conflicto humano-serpiente y la conservación de las serpientes.....	88
Introducción	89
Objetivos.....	90
Materiales y métodos	90

Resultados93

Discusión 106

Conclusiones 109

Literatura citada 110

Discusión general 114

Conclusiones generales 118

Literatura citada 119

 Anexo 1a. Cuestionario relacionado con la percepción inicial de los pobladores hacia las serpientes..... 121

 Anexo 1b. Cuestionario relacionado con el cambio de percepción de los pobladores hacia las serpientes..... 122

Resumen

El conflicto humano-serpiente ha existido desde el principio de la humanidad y aunque el temor y la aversión hacia las serpientes podrían tener una explicación evolutiva y estar justificados por la existencia de especies venenosas y potencialmente mortales para el hombre, otros factores acrecientan el temor hacia ellas. Por lo tanto, el sacrificio intencional de serpientes es una práctica común, incluso dentro de áreas naturales protegidas (ANP) y con especies amenazadas, lo cual, junto con otros impactos antropogénicos negativos, pone en riesgo a las poblaciones de serpientes. Por otro lado, las mordeduras de serpiente venenosa son una enfermedad tropical desatendida y un problema de salud pública, que ocasiona entre 80,000 y 135,000 muertes al año. Considerando lo anterior y tomando en cuenta que México es el país con la mayor diversidad de serpientes del mundo y la mayor riqueza de especies venenosas de América, es necesario realizar acciones para mitigar los efectos del conflicto humano-serpiente y lograr salvar tanto la vida de las personas como la de las serpientes. El objetivo principal de esta tesis es analizar el conflicto humano-serpiente en México y poner en práctica algunas estrategias para su mitigación. Para ello, primero se realizó una extensa revisión bibliográfica para entender el origen del conflicto y proponer estrategias de mitigación aplicables a México. Posteriormente, se estudió el efecto de la translocación a larga distancia (TLD), sobre el ámbito hogareño, el uso de hábitat, los patrones de movimiento y actividad de ejemplares adultos de *Crotalus atrox* en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, como medida de mitigación y conservación. En este sentido se observó que, aunque la translocación tiene algunos efectos negativos como el incremento en las áreas de actividad y patrones de movimiento en las serpientes translocadas, otros aspectos como el uso del microhábitat y selección de refugios, no muestran afectaciones que representen un riesgo para las serpientes, por lo que puede considerarse a la TLD, una medida viable de mitigación del conflicto y conservación de *C. atrox* en la RBBM. También se estudió y evaluó la efectividad de algunas actividades de educación ambiental (AEA) como estrategia de mitigación del conflicto en tres áreas naturales protegidas de Hidalgo. Se observó que, después de la impartición de las AEA, existe un cambio positivo de las personas en la percepción hacia las serpientes, y se demostró que la conformación de las brigadas comunitarias, son una estrategia altamente exitosa para la mitigación del conflicto, la prevención del accidente ofídico y la conservación de las serpientes.

Introducción general

México es el país con la mayor diversidad de serpientes del mundo, con aproximadamente 438 especies (Midtgaard, 2021), de las cuales más de la mitad son endémicas (Heimes, 2016) y sólo el 20% posee venenos potencialmente peligrosos para el hombre (Neri-Castro et al., 2020). Las 90 especies de serpientes venenosas presentes en México (17 elápidos y 73 vipéridos; Fernández-Badillo et al., 2021), posicionan a México también, como el país con la mayor riqueza de serpientes venenosas de América (Campbell y Lamar, 2004), el primero en riqueza de vipéridos a nivel mundial (Fernández-Badillo et al., 2021) y el país con la mayor diversidad de serpientes de cascabel.

Las serpientes cumplen distintas funciones ecológicas; son presas de otros animales como invertebrados, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos (Greene, 1997), pero también cumplen un rol importante como depredadores, lo que las hace una parte importante de los ecosistemas en los que habitan (Corbit, 2015; Sullivan et al., 2017), e incluso se ha considerado que las serpientes venenosas son depredadores significativos en los ambientes áridos (Nowak et al., 2008; Sullivan et al., 2014) y la pérdida de algunos individuos podría tener impactos negativos en las interacciones ecológicas de las especies restantes (Sullivan et al., 2014). Además, recientemente se ha documentado que las serpientes son dispersoras secundarias de semillas (Reiserer et al., 2018), y pueden ser también utilizadas como indicadores de la calidad del hábitat (Beaupre y Douglas, 2009).

Los componentes de su veneno, son la base para obtener más de 20 productos terapéuticos o de diagnóstico (Waheed et al., 2017), como antihemorrágicos, antibióticos, inhibidores de la agregación plaquetaria, tratamientos para la esclerosis múltiple, la distrofia muscular, hipertensión, anticoagulantes, antitrombóticos, entre muchos otros (Waheed et al., 2017). Adicionalmente, del veneno de las serpientes se obtienen los antivenenos que se utilizan para tratar los accidentes ofídicos (Neri-Castro et al., 2020).

Típicamente las serpientes son percibidas por los humanos como potencialmente peligrosas (Brown et al., 2008; Pitts et al., 2017), debido en parte a que el veneno de algunas especies es capaz de matar a personas, animales de compañía o ganado, o bien a causa de los mitos, leyendas y creencias que no se apegan a la realidad que hay en torno a ellas (Fernández-Badillo et al., 2021), por lo que es común que las personas que habitan en zonas rurales de México, sacrifiquen a las serpientes en cuanto las observan (Ávila-Villegas, 2017).

Introducción general

Es evidente entonces, que existe un conflicto entre humanos y serpientes. Por un lado, los humanos se ven afectados por la mordedura de serpientes venenosas, las cuales están catalogadas como un problema de salud pública y una emergencia médica (Gil-Alarcón et al. 2011), además, se consideran en la categoría A de las enfermedades tropicales desatendidas (Chippaux, 2017), ya que a nivel mundial se estima que ocurren entre 81,410 y 137,880 muertes al año y más de 400,000 personas sufren alguna inhabilitación física a causa del envenenamiento (Gutiérrez et al. 2017). Por otro lado, la mayoría de las especies de serpientes, se ven amenazadas por diversas actividades humanas, incluidas la mortalidad asociada a la pérdida de hábitat, la mortalidad por los trabajadores del campo, atropello vehicular, tráfico ilegal de especies y la recolecta científica (Lynch, 2012; Lynch y Angarita-Sierra, 2016; Fernández-Badillo et al., 2021). En consecuencia, la interacción humano-serpiente generalmente resulta en un incremento en la mortalidad de las serpientes (Siegel, 1986; Bonnet et al., 1999; Brown et al., 2009), de tal manera que el número de serpientes que son aniquiladas por los humanos, excede enormemente el del número de personas que mueren a causa de las serpientes (Whitaker y Shine, 2000).

El conflicto ocurre tanto dentro como fuera de las áreas naturales protegidas (ANP), y hasta ahora no existe ningún programa o estrategia de conservación específica dentro de las ANP del país. Por otro lado, la declinación en las poblaciones de serpientes, no recibe la misma atención que en otros grupos herpetofaunísticos, como por ejemplo tortugas o anfibios (Mullin y Seigel, 2009), y considerando la gran riqueza de serpientes que se distribuyen en el territorio, México debería asumir un fuerte compromiso para disminuir las amenazas que afectan a este grupo (Paredes-García et al., 2011). Además, debido a su importancia ecológica y a los descubrimientos relacionados con la salud humana (Olson et al., 2015), las serpientes deberían de ser especies prioritarias para la conservación, tanto dentro como fuera de las ANP.

En el caso de las serpientes de cascabel, el conflicto se debe a que comúnmente estas serpientes encuentran refugio alrededor de áreas residenciales urbanas o suburbanas (Laidig y Golden, 2004), o en zonas de cultivo, y debido al aumento de la frontera urbana o suburbana, los encuentros con serpientes en muchas zonas son inevitables y pueden en muchos casos representar un riesgo para la salud humana, y conlleva al sacrificio intencional o accidental de los individuos de estas serpientes (Pitts et al., 2017).

Introducción general

Es por ello, que se ha considerado a la translocación como una medida de mitigación de este conflicto (Craven et al., 1998). La translocación implica mover fauna silvestre nociva a áreas donde no entre en conflicto con los humanos (Sullivan et al., 2014), y de acuerdo con Hardy et al. (2001), las translocaciones se dividen de acuerdo a la distancia a la que los animales son movidos desde sus áreas normales de actividad hacia las zonas de reubicación, de tal manera que las translocaciones que se realizan fuera del ámbito hogareño de la especie, se denominan como translocaciones a larga distancia (TLD), y aquellas que se llevan a cabo dentro del ámbito hogareño se conocen como translocaciones a corta distancia (TLC).

Sin embargo, debido a las consecuencias negativas para las serpientes por la TLD y a la poca efectividad de la TCD para evitar que las serpientes se alejen de los sitios de conflicto con los humanos (Fernández-Badillo et al., 2021), así como a los múltiples factores que deben tomarse en cuenta con respecto a la translocación y sus posibles alternativas, se ha sugerido que en ciertos casos, el control letal podría ser una solución inevitable, pero que podría resultar más humanitaria, práctica y menos costosa (Massei et al., 2010). Sin embargo, en la mayoría de los casos, va en contra de los esfuerzos de conservación y de la normatividad que protege a las especies (Nowak y Ripper, 1999). Por ello, esta medida resulta éticamente cuestionable dentro de un Área Natural Protegida (ANP), donde uno de sus principales objetivos, de acuerdo con Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (DOF, 2022), es preservar la biodiversidad, particularmente de las especies que están en peligro de extinción, las amenazadas, las raras y las que se encuentran sujetas a protección especial.

En este sentido, la difusión del conocimiento acerca de las serpientes probablemente sea la forma más efectiva de evitar su sacrificio, por lo tanto, la implementación de programas de educación ambiental es una medida que puede mitigar el conflicto humano-serpiente (Sullivan et al., 2014; Fernández-Badillo et al., 2021). El concepto de educación ambiental no es estático (Martínez-Castillo, 2010) e implica diversos enfoques (Paz et al., 2014) y no existe una definición única. En el presente trabajo se considera como un proceso de formación dirigido a toda la sociedad, tanto en el ámbito escolar como en el extraescolar, para facilitar la percepción integrada del ambiente, a fin de lograr conductas más racionales a favor del desarrollo social y del ambiente (CONABIO, 2018). La educación ambiental es considerada como un eje estratégico de la Estrategia Nacional sobre

Introducción general

Biodiversidad de México y Plan de Acción 2016-2030 (CONABIO, 2016), forma parte de las estrategias sugeridas para la conservación de serpientes de Colombia (Lynch et al., 2014) y se encuentra integrada en el componente “Cultura para la conservación” del Programa de Acción para la Conservación de las Serpientes de Cascabel del género *Crotalus* (SEMARNAT, 2018).

Con base en lo anterior, el presente trabajo está dividido en tres capítulos:

- 1) Revisión del conflicto humano-serpiente, en el que se analizan las causas que originan el conflicto, así como las distintas estrategias de mitigación que se han implementado en otros países, se discute sobre su viabilidad para implementarlas en México y se sugieren distintas acciones para lograr la conservación de las serpientes.
- 2) Análisis de la translocación a larga distancia de individuos de la serpiente de cascabel *Crotalus atrox*, como medida de mitigación del conflicto humano-serpiente y la conservación de esta especie en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán. Los resultados obtenidos incluyen información sobre el ámbito hogareño, uso de hábitat, patrones de movimiento y actividad entre ejemplares residentes y translocados.
- 3) Estudio del conflicto humano-serpiente y evaluación de algunas estrategias de educación ambiental para su mitigación en tres ANP de Hidalgo. Se analizó el cambio en la percepción de las personas hacia las serpientes, mediante la impartición de pláticas y se implementó un programa de capacitación comunitaria para la formación de brigadas de rescate y conservación de serpientes en el Parque Nacional El Chico, el Parque Nacional Los Mármoles y la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán.

Justificación general

Debido a que las serpientes de cascabel son consideradas como nocivas y generalmente son sacrificadas cuando se encuentran cerca de asentamientos humanos, sin importar su estado de riesgo o si están dentro o fuera de un área natural protegida, es necesario desarrollar estrategias que permitan por un lado mitigar el conflicto humano-serpiente y, por el otro, conservar a estos organismos. Por lo tanto, a partir de un análisis de la bibliografía y del estudio de algunos aspectos de la historia natural y la ecología espacial de la serpiente *Crotalus atrox* en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (RBBM), el presente proyecto busca analizar el conflicto humano-serpiente, y evaluar la efectividad de las translocaciones a larga distancia como medida de mitigación y de conservación para las serpientes de cascabel, en combinación con un programa de educación ambiental para los pobladores de las zonas en conflicto tanto dentro de la RBBM como en otras dos Áreas Naturales Protegidas del estado de Hidalgo

Literatura citada

Ávila-Villegas, H. 2017. Serpiente de cascabel. Entre el peligro y la conservación. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 165 P.

Beaupre, S. J., y L. E. Douglas. 2009. Snakes as indicators and monitors of Ecosystem Properties. En: S. J. Mullin y R. A. Seigel (Eds). Snakes Ecology and Conservation. Cornell University Press, Ithaca, New York. Pp. 244-261.

Bonnet, X., G. Naullean y R. Shine. 1999. The dangers of leaving home: dispersal and mortality in snakes. *Biological Conservation* 89: 39-50.

Brown, T. K., J. M. Lemm, J. P. Montagne, J. A. Trcey y A. C. Alberts. 2008. Spatial ecology, habitat use, and survivorship of resident and translocated Red Diamond Rattlesnakes (*Crotalus ruber*). En: W. K. Hayes, M. D. Cardwell, K. R. Beaman y S. P. Bush. (Eds). *The Biology of Rattlesnakes*. Loma Linda University Press, Loma Linda, California. Pp. 377-394.

Brown, J. R., C. A. Bishop y R. J. Brooks. 2009. Effectiveness of short-distance translocations and its effects on western Rattlesnakes. *Journal of Wildlife Management* 73: 419-425.

Campbell, J. A. y W. W. Lamar. 2004. *The venomous reptiles of the western hemisphere*, Vol. II. Comstock/ Cornell University Press, Ithaca, New York. 870 p.

Chippaux, J. P. 2017. Snakebite envenomation turns again into a neglected tropical disease. *Journal of venomous animals and toxins including tropical diseases* 23:38 DOI 10.1186/s40409-017-0127-6

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2016. *Estrategia nacional sobre biodiversidad de México (ENBIOMEX) y plan de acción 2016-2030*. CONABIO, México. 383 p.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2018. *Estrategia para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad del estado de Oaxaca*. CONABIO/ SEMARNAT, México. 182 p.

Corbit, A. G. 2015. *The dynamics of human and rattlesnake conflict in Sothern California*. Loma Linda Electronic Theses, Dissertations and Projects. 195 p.

Introducción general

Craven, S., T. Barnes y G. Kania. 1998. Toward a professional position on the translocation of problem wildlife. *Wildlife Society Bulletin* 26: 171-177.

DOF. Diario Oficial de la Federación. 2022. Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

Fernández-Badillo, L., I. Zuria, J. Sigala-Rodríguez, G. Sánchez-Rojas, G. Castañeda-Gaytán. 2021. Revisión del conflicto entre los seres humanos y las serpientes en México: origen, mitigación y perspectivas. *Animal Biodiversity and Conservation* 44.2: 153-174.

Gil-Alarcón, G., M. C. Sánchez-Villegas y V. H. Reynoso. 2011. Tratamiento prehospitalario del accidente ofídico: revisión, actualización y problemática actual. *Gaceta Médica de México* 147:195-208.

Greene, H. W. 1997. *Snakes. The Evolution of Mystery in Nature*. University of California Press. Berkley and Los Angeles, California, USA.

Gutiérrez, J. M., J. J. Calvete, A. G. Habib, R. A. Harrison, D. J. Williams y D. A. Warrel. 2017. Snakebite envenoming. *Nature Reviews Disease Primers* 3: 1-20.

Hardy, D. L., H. W. Greene, B. Tomberlin y M. Webster. 2001. Relocation of nuisance Rattlesnakes: problems using short-distance translocation in a small rural community. *Sonoran Herpetologist* 14: 1-3.

Heimes, P. 2016. *Herpetofauna Mexicana Vol. Snakes of Mexico*. Edition Chimaira, Frankfurt am Main. 572 p.

Laidig, K. J., y D. M. Golden. 2004. Assessing timber rattlesnake movements near a residential development and locating new hibernacula in the New Jersey Pinelands. Unpublished Report, Pinelands Commission, New Lisbon, NJ.

Lynch, J. D. 2012. El contexto de las serpientes de Colombia con un análisis de las amenazas en contra de su conservación. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 36: 435-449.

Lynch, J. D., T. Angarita y F. J. Ruiz-Gómez. 2014. Programa nacional para la conservación de las serpientes presentes en Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible,

Introducción general

Colombia/Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales/Instituto Nacional de Salud. Colombia. 127 p.

Martínez-Castillo, R. 2010. La importancia de la educación ambiental ante la problemática actual. *Educare* 14: 97-111.

Massei, G., R. J. Quay, J. Gurney y D. P. Cowan. 2010. Can translocations be used to mitigate human-wildlife conflicts? *Wildlife Research* 37: 428-439.

Midtgaard, R. 2021. RepFocus-A survey of the reptiles of the world. E-Book published by the author. Midderfart, Denmark. <http://repfocus.dk/Serpentes.html>.

Mullin, S. J., y R. A. Seigel. 2009. Opening doors for snake conservation. En. S. J. Mullin y R. A. Seigel. *Snakes: Ecology and conservation*. Cornell University Press, United States.

Neri-Castro, E., M. Benard-Valle, G. Gil, M. Borja, J. López de León y A. Alagón. 2020. Serpientes venenosas en México: Una revisión al estudio de los venenos, los antivenenos y la epidemiología. *Revista Latinoamericana de Herpetología* 3: 5-22.

Nowak, E. M., y V. C. Riper III. 1999. Effects and effectiveness of rattlesnake relocation at Montezuma Castle National Monument. U. S. Geological Survey/FRESC Report Series USGS/FRESC/COPL/1999/17.

Nowak, E. M., T. C. Theimer y G. W. Schuett. 2008. Functional and numerical responses of predators: Where do vipers fit in the traditional paradigms? *Biological Reviews* 83: 601-620.

Olson, Z. H., B. J. MacGowan, M. T. Hamilton, A. F. T. Currylow y R. N. Williams. 2015. Survival of Timber Rattlesnakes (*Crotalus horridus*): Investigating individual, environmental and ecological effects. *Herpetologica* 71: 274-279.

Paredes-García, D. M., A. Ramírez-Bautista y M. A. Martínez-Morales. 2011. Distribución y representatividad de las especies del género *Crotalus* en las áreas naturales protegidas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 689-700.

Paz, L. S., Avendaño W. R. y Parada-Trujillo, A. E. 2014. Desarrollo conceptual de la educación ambiental en el contexto colombiano. *Luna Azul* 39: 250-270.

Pitts, S. L., B. D. Hughes e I. Mali. 2017. Rattlesnake nuisance removals and urban expansion in Phoenix, Arizona. *Western North American Naturalist* 77: 309-316.

Introducción general

Reiserer, R. S., G. W. Schuett y H. W. Greene. 2018. Seed ingestion and germination in rattlesnakes: overlooked agents of rescue and secondary dispersal. *Proceedings of the Royal Society B* 285:20172755.

SEMARNAT. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2018. Programa de acción para la conservación de las especies. Serpientes de Cascabel (*Crotalus spp.*). SEMARNAT/CONANP, México. 146 p.

Siegel, R. A. 1986. Ecology and conservation of an endangered rattlesnakes, *Sistrurus catenatus*, in Missouri, USA. *Biological Conservation* 35: 333-346.

Sullivan, B. K., E. M. Nowak y M. A. Kwiatowski. 2014. Problems with mitigation translocation of herpetofauna. *Conservation Biology* 29: 12-18.

Sullivan, B. K., D. J. Leavitt y K. O. Sullivan. 2017. Snake communities on the urban fringe in the Sonoran Desert: influences on species richness and abundance. *Urban Ecosystem* 20:199-2006.

Waheed, H., S. F. Moin y M. I. Choudhary. 2017. Snake venom: From deadly toxins to life-saving therapeutics. *Current Medicinal Chemistry* 24: 1874-1891.

Whitaker, P. B., y R. Shine. 2000. Sources of mortality of large elapid snakes in an agricultural landscape. *Journal of Herpetology* 34: 121-128.

Capítulo I: Panorama general del conflicto humano- serpiente

Artículo I: Revisión del conflicto entre los seres humanos y las serpientes en México: origen, mitigación y perspectivas

Autores: Fernández-Badillo, L., Zuria, I., Sigala-Rodríguez, J., Sánchez-Rojas, G., & Castañeda-Gaytán, G. (2021). Revisión del conflicto entre los seres humanos y las serpientes en México: origen, mitigación y perspectivas. *Animal Biodiversity and Conservation*, 44: 153-174.

Revisión del conflicto entre los seres humanos y las serpientes en México: origen, mitigación y perspectivas

L. Fernández–Badillo, I. Zuria, J. Sigala–Rodríguez, G. Sánchez–Rojas, G. Castañeda–Gaytán

Fernández–Badillo, L., Zuria, I., Sigala–Rodríguez, J., Sánchez–Rojas, G., Castañeda–Gaytán, G., 2021. Revisión del conflicto entre los humanos y las serpientes en México: origen, mitigación y perspectivas. *Animal Biodiversity and Conservation*, 44.2: 153–174, Doi: <https://doi.org/10.32800/abc.2021.44.0153>

Abstract

Review of the human–snake conflict in Mexico: origin, mitigation and perspectives. The conflict between humans and snakes has existed since unmemorable times. Fear of and aversion towards these animals may have an evolutionary explanation and may be justified because venomous and deadly snakes cause thousands of deaths around the world each year. Furthermore, social perception, the media, myths, and even religion, increase and feed this fear, resulting in the intentional slaughter of snakes being a common practice in many places. As Mexico is a mega–diverse country with more species of snakes than any other country, it faces a particularly difficult situation with regard to snake bites. Here we revise this human–snake conflict from different perspectives in order to better understand it, to propose possible solutions to reduce it, and to contribute towards snake conservation.

Key words: Fear, Mexico, Megadiverse, Vipers, Strategies, Mitigation, Conservation

Resumen

Revisión del conflicto entre los seres humanos y las serpientes en México: origen, mitigación y perspectivas. El conflicto entre los humanos y las serpientes ha existido desde el principio de la humanidad y, aunque el temor y la aversión hacia estos animales podrían tener una explicación evolutiva y pueden estar justificados por la presencia de especies venenosas y mortales para el hombre, que causan miles de muertes al año, la percepción social, los medios de comunicación, los mitos e incluso la religión acrecientan y alimentan el temor hacia estos animales, por lo que en muchos lugares el sacrificio intencionado de serpientes es una práctica común. Esta situación también ocurre en México, un país megadiverso que acoge a la mayor diversidad de serpientes de todo el mundo y en el que también existe una problemática seria a causa de las mordeduras de serpientes. Aquí presentamos una revisión de este conflicto desde distintas perspectivas, para tratar de entenderlo, proponer posibles soluciones para mitigarlo y contribuir a la conservación de las serpientes.

Palabras clave: Temor, México, Megadiverso, Vipéridos, Estrategias, Mitigación, Conservación

Received: 28 IX 20; Conditional acceptance: 10 III 21; Final acceptance: 24 III 21

Leonardo Fernández–Badillo, Iriana Zuria, Gerardo Sánchez–Rojas, Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, km. 4.5 carretera Pachuca–Tulancingo, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.– Leonardo Fernández Badillo, Predio Intensivo de Manejo de Vida Silvestre X–Flora Reptilia. Carretera México–Tampico s/n., Pilas y Granadas, 43350 Metztlán, Hidalgo, México.– Jesús Sigala–Rodríguez, Colección Zoológica de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, C. P. 20131, Aguascalientes, Aguascalientes, México.– Gamaliel Castañeda Gaytán, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Av. Universidad s/n., Fracc. Filadelfia, C. P. 35020, Gómez Palacio, Durango, México.

Corresponding author: Iriana Zuria. E–mail: izuria@uaeh.edu.mx

Introducción

El conflicto entre los seres humanos y los animales silvestres se define como cualquier acción de una de las partes que tiene un efecto adverso en la otra (Conover, 2001). Los efectos de este conflicto pueden ser lesiones o incluso la muerte de las personas a causa de ataques (Karanth et al. 2018), accidentes con vehículos (Saint-Andrieux et al., 2020) y transmisión de enfermedades zoonóticas (Nyhus, 2016). Sin embargo, los mayores efectos negativos que han podido cuantificarse económicamente son los daños materiales ocasionados a los cultivos, la ganadería y las infraestructuras (Conover et al., 2018). A consecuencia de este conflicto, se extermina a una gran cantidad de animales en todo el mundo, lo cual, en ocasiones, conlleva la extinción local de las especies que forman parte del conflicto, incluso de animales bien reconocidos y simbólicos, como los grandes depredadores (Hammerschlag y Gallagher, 2017). A las especies que se encuentran en zonas donde los seres humanos las consideran potencialmente peligrosas o destructivas y, por tanto, no las quieren, se las denomina especies nocivas (Nowak et al., 2002).

Las personas suelen tener conflictos con las serpientes debido a que algunas de ellas representan un riesgo para la salud humana, lo que conlleva que frecuentemente se mate a estos reptiles (Pandey et al., 2016), incluso de especies inofensivas que se confunden con especies venenosas (Ávila-Villegas, 2017). En algunos estudios empíricos se sugiere que la evolución dotó a nuestros antepasados con una disposición para asociar fácilmente el miedo con amenazas recurrentes, de manera que nuestro sistema visual está predispuesto para detectar rápidamente animales peligrosos (Kawai y Koda, 2016). Esto puede explicar por qué en general los humanos temen a las serpientes; sin embargo, existen otros factores que pueden ser causantes del miedo a estos animales y que se analizan más adelante. Por otro lado, en culturas antiguas, las serpientes eran veneradas (Fernández-Rubio, 2017) e incluso siguen siendo deidades importantes para muchas culturas que las han asociado más con símbolos positivos (agua, conocimiento, fertilidad, eternidad, salud, etc.) que con símbolos negativos (Ballouard et al., 2013). Incluso actualmente, en ciertas partes del mundo como la India, el culto al Dios serpiente aún se practica, y estos animales son respetados en los templos, hasta el punto de que, en algunas regiones, se considera un pecado matar o herir a una serpiente (Yuan et al., 2020).

A pesar de lo anterior, considerar a las serpientes como animales nocivos y tratar de erradicarlas parece ser un fenómeno mundial que contribuye a la disminución de sus poblaciones (Pandey et al., 2016). Por ello, resulta importante analizar las causas, las consecuencias y las posibles soluciones de este conflicto a escala local o regional, para promover acciones que permitan la conservación de estos vertebrados.

En el presente trabajo se analiza el conflicto entre los seres humanos y las serpientes en México desde distintas perspectivas, partiendo desde el origen del temor hacia las serpientes, así como de los factores

que lo acrecientan. Considerando la información y las estrategias disponibles para otros países, se sugieren soluciones aplicables a la realidad mexicana que permiten mitigar el conflicto y promover la conservación de las serpientes.

Panorama de la riqueza de serpientes en México

En México viven aproximadamente 438 especies de serpientes, lo que sitúa este país el primero en cuanto a diversidad de serpientes en el mundo (Midtgaard, 2021). Además, cerca de la mitad de sus especies son endémicas del país (Heimes, 2016). Estas especies se encuentran agrupadas en once familias, según la taxonomía propuesta por Zaher et al. (2019): Boidae, Charinidae, Colubridae, Dip-sadidae, Elapidae, Leptotyphlopidae, Loxocemidae, Natricidae, Sybinophidae, Typhlopidae y Viperidae (Heimes, 2016); solo dos de ellas (Elapidae y Viperidae) poseen venenos potencialmente peligrosos para el hombre (Fernández-Badillo et al., 2011). Estas serpientes venenosas están representadas en México por 90 especies (17 elápidos y 73 vipéridos; Campbell y Lamar, 2004; Meik et al., 2015; Davis et al., 2016; Heimes, 2016; Blair et al., 2018; Carbajal-Márquez et al., 2020; Reyes-Velasco et al., 2020), lo que posiciona a México como el país con mayor diversidad de ofidios venenosos de América (Campbell y Lamar, 2004) y el más diverso del mundo en lo que a especies de vipéridos se refiere.

Considerando esta gran riqueza de serpientes, México debe asumir el reto de lograr la conservación de estas especies a largo plazo, buscando estrategias que permitan disminuir las amenazas que afectan a este grupo en particular (Paredes-García et al., 2011). Además, es importante conservar estos reptiles debido a su importancia ecológica y a los descubrimientos que se han hecho relacionados con la salud humana (Olson et al., 2015). Existen algunas iniciativas para su conservación como el Programa para la Conservación de Especies del género *Crotalus*, en el que se incluyen 43 especies (SEMARNAT, 2018); sin embargo, dada la enorme riqueza de serpientes de México y su problemática de conservación, hacen falta más esfuerzos que garanticen la conservación de este diverso grupo en el país.

Origen del conflicto entre los seres humanos y las serpientes

El conflicto entre los seres humanos y las serpientes siempre ha existido y el miedo a estos animales se explica como un rasgo evolutivo heredado de los ancestros primates, los cuales eran depredados por grandes serpientes constrictoras (Burghardt et al., 2009; Isbell, 2009; Soares et al., 2014; Hoehl et al., 2017). Incluso se ha formulado la hipótesis de que las serpientes fueron en última instancia las responsables de la evolución del sistema visual y de la expansión del cerebro de los primeros primates, y se plantea

que el sistema visual y el cerebro de los antropoides se modificaron aún más con la aparición de las serpientes venenosas (Isbell, 2005); sin embargo, Tierney y Connolly (2013) sugieren que no existe información suficiente para concluir lo anterior. Otros autores indican que el miedo puede ser adquirido por aspectos culturales (como los mitos y leyendas) y religiosos, por la transmisión intergeneracional de conocimientos erróneos acerca de las serpientes (Davey, 1995; Aguilar-López, 2016) o por el peligro real que representan las serpientes venenosas (Ballouard *et al.*, 2013). Este miedo a las serpientes podría ser la fobia animal más generalizada entre los seres humanos (Anderson *et al.*, 2013).

La consecuencia más evidente de este miedo es que las serpientes son percibidas por el ser humano como animales peligrosos a los que hay que evitar o erradicar (Pandey *et al.*, 2016; Pitts *et al.*, 2017), por lo que es común que se las sacrifique indiscriminadamente (Whitaker y Shine, 2000; Ávila-Villegas, 2017). Por esta razón, es importante analizar con detalle los factores que influyen en el miedo hacia las serpientes y, a partir de ello, formular estrategias que permitan cambiar la percepción de las personas, a fin de minimizar el perjuicio a las poblaciones de estos animales y, consecuentemente, evitar un mayor impacto ecológico en el ecosistema.

Factores que influyen en el temor hacia las serpientes

Dejando de lado el posible miedo innato o instintivo hacia las serpientes, hay tres factores que propician o incrementan el miedo hacia estos animales: 1, los mitos y la religión; 2, la percepción moderna y la mala publicidad en los medios de comunicación, y 3, las mordeduras de serpientes venenosas. Todos ellos se analizan a continuación:

Los mitos y la religión

Las serpientes son probablemente los animales de los que más mitos y leyendas existen y resulta muy difícil desarraigar prejuicios que tienen antecedentes muy antiguos (Casas-Andreu, 2000; Ermacora, 2017; Paulino, 2018). Muchos de estos mitos y leyendas surgen de la exageración, otros a partir de observaciones o interpretaciones equivocadas (Klauber, 1982) y otros son producto de ciertos prejuicios y falta de información, ya que por lo general no se conocen aspectos básicos de la biología, la conducta y el papel que desempeñan las serpientes en los ecosistemas, principalmente debido a sus hábitos nocturnos y por ser poco detectables en algunos hábitats (Aguilar-López, 2016). Otro aspecto cultural que afecta negativamente a la percepción que se tiene de las serpientes es la interpretación literal del Génesis, donde se identifica a las serpientes como la representación del mal y se las presenta como la personificación del Diablo (Aguilar-López, 2016).

En México, las serpientes tuvieron un papel muy importante en la mitología y la cosmovisión de los

pueblos prehispánicos, y son de los animales más recurrentes en los códices (Martín del Campo, 1936). Casi todos los monumentos mayas, toltecas y mexicas tienen representaciones de serpientes (Cuesta Terron, 1931) y algunas de las deidades más importantes de estas culturas, como Quetzalcoatl o Kukulcan, fueron representadas por serpientes (Cuesta Terron, 1931; Martín del Campo, 1936). Además, desde la época prehispánica ya existían historias y mitos respecto a las serpientes, algunos de los cuales se encuentran descritos en códices (Martín del Campo, 1936, 1938) y permanecen hasta nuestros días. Por ejemplo, el mito de que las serpientes andan en pareja y que, si se mata a una de ellas, el ejemplar que queda persigue a la persona hasta vengarse, es un relato que ya existía entre los pueblos prehispánicos (Martín del Campo, 1936) y persiste aún en la actualidad en algunas localidades del estado de Hidalgo, México (obs. pers). Independientemente de si los mitos presentes en México tienen un origen muy antiguo o reciente, generalmente están arraigados en el pensamiento y la cultura de los pobladores.

La percepción moderna y la mala publicidad en los medios de comunicación

En la actualidad, los medios de comunicación de la sociedad occidental están más centrados en el entretenimiento que en la educación y han generado y reforzado diversas creencias negativas e irracionales sobre las serpientes (Ballouard *et al.*, 2013). Por ejemplo, existe un subgénero cinematográfico de terror llamado "ecoterror", en el que los personajes humanos son atacados por las fuerzas de la naturaleza, principalmente animales o plantas (Rust y Soles, 2014). Se han filmado diversas películas de este género sobre serpientes asesinas, en las que se da una visión pésimas de las serpientes (Aguilar-López, 2016). Algunos títulos famosos son "Anaconda I y II", "Serpientes asesinas", "Serpientes abordo", "Serpientes en el tren", "Veneno", "Sssssss", "Pirañaconda", "Python" y "Boa", entre muchas otras. No hay duda de que estos trabajos cinematográficos de amplia distribución pueden fomentar el odio y la aversión hacia las serpientes en algunos sectores de la sociedad.

En este sentido, Morris (2017) menciona que el mayor obstáculo para enseñar los comportamientos precisos de las serpientes, por ejemplo, los de las serpientes de cascabel, es luchar contra el flujo continuo de conceptos equivocados que transmiten los medios de comunicación. Incluso en algunos documentales sobre fauna silvestre se presenta a las serpientes como animales peligrosos y agresivos (Ballouard *et al.*, 2013). En consecuencia, el miedo hacia los ofidios no siempre está relacionado con una percepción de peligro (Ballouard *et al.*, 2013), ya que puede surgir independientemente del riesgo, y ese temor fuerte y persistente puede ser irracional o estar influenciado por los medios de comunicación y creencias religiosas arraigadas (Öhman y Mineka, 2003).

Otro aspecto que ha infundido mucho temor hacia las serpientes es la existencia de especies de tallas muy grandes como las pitones y las anacondas, lo

cual se ha reforzado con las películas en las que estas serpientes devoran personas y las noticias sensacionalistas de la prensa. Si bien hace 65 millones de años las serpientes constrictoras fueron de los primeros depredadores de los antiguos primates (Isbell, 2005), en la actualidad, la mayoría de las especies de serpientes de tallas muy grandes no percibe a los humanos como presas potenciales, y existen muy pocos casos documentados de serpientes que hayan devorado personas (Branch y Hacke, 1980). Se sabe que las anacondas en medios antropomorfizados se alimentan principalmente de animales domésticos (perros, vacas, gallinas y gatos; Miranda *et al.*, 2016) y que, aunque los ataques a personas son sumamente infrecuentes, la idea de que estas serpientes representan un riesgo para los humanos se encuentra muy arraigada en los habitantes de las comunidades rurales y con poco acceso a información.

En la mayoría de los estados de México, los pobladores aseguran que existen serpientes de 10 metros o más de longitud e indican que estas serpientes de gran tamaño no mueren al ser atropelladas y que incluso pueden volcar vehículos (Fernández-Badillo, datos no publicados). Estas afirmaciones son irreales y exageradas, debido a que en México las serpientes de mayor longitud son las boas (género *Boa*), que no superan los 3,20 metros (Heimes, 2016). Asimismo, en México, es común que en la prensa y en la televisión se presente una imagen negativa de las serpientes y se las identifique como criaturas peligrosas.

Mordeduras de serpientes venenosas

En el mundo existen 3.956 especies de serpientes y, aunque solo el 19,3% (767 especies; Midtgaard, 2021) tienen un veneno potencialmente peligroso para el hombre, el temor a las serpientes resulta justificable si se consideran los efectos de la mordedura de una serpiente venenosa. Las mordeduras son una amenaza real para la salud humana y están catalogadas como una emergencia médica (Gil-Alarcón *et al.*, 2011); además se las considera una enfermedad tropical desatendida (ETD; Chippaux, 2017; Gutiérrez *et al.*, 2017; OMS, 2019), que resulta de la inyección de un veneno altamente especializado, usualmente en circunstancias accidentales (Gutiérrez *et al.*, 2017). En este sentido, se estima que ocurren entre 1,8 y 2,7 millones de casos de envenenamiento y entre 81.000 y 130.000 muertes al año en todo el mundo (Gutiérrez *et al.*, 2017; OMS, 2019).

La mordedura de serpiente es un problema de salud pública importante en muchos países y una causa importante de morbilidad y mortalidad en las zonas empobrecidas tropicales y subtropicales del África subsahariana, el este y sureste de Asia, Papúa Nueva Guinea y Latinoamérica (Gutiérrez *et al.*, 2017). A escala global, hay una fuerte asociación entre un estatus socioeconómico bajo y una alta tasa de mordeduras (OMS, 2019), además, es más común encontrar serpientes en las zonas rurales y las áreas de cultivo que en las grandes ciudades. Sin embargo, algunas serpientes suelen habitar cerca de zonas residenciales urbanas o suburbanas, como

ocurre con especies del género *Crotalus* (Pitts *et al.*, 2017), varias especies de elápidos australianos (Shine y Koenig, 2001) y algunas especies del género *Bothrops* (Cândido de França *et al.*, 2017).

En México, la información disponible acerca de las mordeduras de serpiente en la década de los noventa incluía únicamente datos del Instituto Mexicano del Seguro Social, así como del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Entre 1994 y 1998 se registraron 2.620 mordeduras (Tay-Zavala *et al.*, 2002; Luna-Bauza *et al.*, 2004; González-Rivera *et al.*, 2009), lo que seguramente es un número inferior al real, ya que muchas mordeduras quedan sin registrar o atender. A partir de 2003, se comenzaron a notificar y reportar a escala nacional todos los datos referentes a las mordeduras de serpientes en México (González-Rivera *et al.*, 2009; Siria-Hernández y Arellano-Bravo, 2009; Zúñiga-Carrasco y Caro-Lozano, 2013; Neri-Castro *et al.*, 2020a) y, aunque estos trabajos muestran que el promedio anual de mordeduras cambia en función del periodo de estudio, este se encuentra en un intervalo de entre 3.500 y 4.111 casos anuales.

Los estados en los que se ha producido un mayor número de mordeduras son Oaxaca, Veracruz, San Luis Potosí, Puebla e Hidalgo (González-Rivera *et al.*, 2009; Siria-Hernández y Arellano-Bravo, 2009; Zúñiga-Carrasco y Caro-Lozano, 2013; Chippaux, 2017; Neri-Castro *et al.*, 2020a) y, en algunos periodos, Chiapas y Tabasco (Zúñiga-Carrasco y Caro-Lozano, 2013).

La mayoría de los accidentes (66,3%), así como de los fallecimientos (66,7%), ocurre en personas del sexo masculino (Tay-Zavala *et al.*, 2002; Zúñiga-Carrasco y Caro-Lozano, 2013; Chippaux, 2017; Neri-Castro *et al.*, 2020a); en el periodo de 2003 a 2010, la mayor mortalidad ocurrió en personas de entre 24 y 44 años de edad y, en segundo lugar, en los mayores de 65 años, siendo más marcada en este último por la presencia de enfermedades de base y complicaciones con el ofidismo (Zúñiga-Carrasco y Caro-Lozano, 2013). Asimismo, la mayoría de las mordeduras se produce en los pies (Tay-Zavala *et al.*, 2002; Zúñiga-Carrasco y Castro-Bravo, 2013), al menos en los accidentes que ocurren en el campo; mientras que en las ciudades, las mordeduras generalmente se producen en las manos (Gil-Alarcón, obs. pers.). Por otro lado, la mortalidad y la incidencia son menores en el norte de México y va aumentando hacia el sur del territorio, con un promedio de incidencia de dos personas por cada 100.000 en el norte, de siete por cada 100.000 en el centro y de nueve por cada 100.000 en el sur del país (Chippaux, 2017).

La mortalidad por mordedura de serpiente en México ha ido disminuyendo considerablemente con el paso de los años. Frayre-Torres *et al.* (2006) registraron 2.728 muertes entre 1979 y 2003 y una disminución del 76% en la tasa de mortalidad por cada 100.000 habitantes, que fue de 0,25 en la década de 1970 a 0,05 durante los años 2000; a partir del 2010, la tasa de mortalidad en México fue inferior al 0,04 (Chippaux, 2017). Por otro lado, Neri-Castro *et al.* (2020a) indican que en la década de 1990, el promedio de defunciones por año fue de $110,8 \pm 20$, mientras que en el periodo de 2010–2017, fue de $34 \pm 6,6$. Esto implica

una disminución en el promedio de defunciones del 69%, lo cual, de acuerdo con *et al.* (2020a), puede deberse a mejoras en la calidad y disponibilidad de los tratamientos, así como a la generalización del uso de los antídotos faboterápicos a partir de 1997.

A escala estatal se han publicado pocos estudios para conocer la problemática que representan las mordeduras de serpiente y solo se cuenta con información relativa a los estados de Chiapas (Suárez-Velázquez y Luna-Reyes, 2009) y Veracruz (Yañez-Arenas, 2014; Yañez-Arenas *et al.*, 2014; 2016). Estos estudios permiten conocer la situación general de los accidentes ofídicos en esos estados y ayudan a identificar las áreas de mayor incidencia y riesgo de mordeduras provocadas por las especies de serpientes venenosas que albergan. Este es el conocimiento que ha fundamentado la implementación de estrategias que permitan mejorar la distribución de los antídotos y reforzar la capacitación del personal médico, así como para conocer en qué zonas es más urgente realizar campañas de prevención y primeros auxilios en caso de accidente ofídico destinadas a los pobladores.

No hay datos a escala nacional sobre las especies que protagonizan accidentes ofídicos y, generalmente, se desconoce la especie de serpiente que ocasiona el accidente (Neri-Castro *et al.*, 2020a). Sin embargo, según la experiencia de estos autores, las especies que posiblemente causen más mordeduras en México son: *Bothrops asper*, *Crotalus atrox*, *C. basiliscus*, *C. culminatus*, *C. tzabcan*, *C. mictlantecutli*, *C. molossus* y sus subespecies, *C. simus* y *Agkistrodon bilineatus*. No obstante, es posible que otras especies de serpientes de cascabel estén implicadas en los accidentes, por ejemplo *C. scutulatus*, que presenta una amplia distribución en México (Heimes, 2016), o especies con distribuciones más restringidas en el centro del país, pero que son muy abundantes, incluso en zonas urbanas y zonas de cultivo, como *C. aquilus*, *C. polystictus*, *C. ravus* o *C. triseriatus* (obs. pers.).

Acciones o conductas de los humanos que afectan a las serpientes

Las serpientes se ven amenazadas principalmente por cinco factores antrópicos, cuyo orden de importancia es el siguiente: 1) la mortalidad asociada a la pérdida de hábitat, 2) la mortalidad causada por trabajadores del campo, 3) la mortalidad asociada al tráfico en las carreteras, 4) el tráfico ilegal de especies silvestres y 5) la captura con fines científicos (Lynch, 2012; Lynch y Angarita-Sierra, 2016).

A partir de la propuesta de Lynch (2012), en la que se considera una tasa de pérdida de serpientes de 375 individuos/ha debido a la tala de coberturas boscosas, Lynch y Angarita-Sierra (2016) calculan que, en Colombia, mueren entre 500.000 y 50.000.000 ejemplares de serpiente a causa de la pérdida del hábitat. Lamentablemente, no existen datos sobre la mortalidad de serpientes asociada a la pérdida de hábitat en México.

En cuanto a la mortalidad causada por trabajadores del campo, Lynch (2012) estimó que, en Colombia, los pobladores llegan a sacrificar hasta 8.000.000 ser-

pientes cada año por aversión y miedo. Este tipo de conducta se denomina miedo activo y conlleva una acción directa en contra de estos animales con el fin de exterminarlos (Aguilar-López, 2016). El miedo activo representa entonces una amenaza sumamente importante y no tiene que ver con el peligro real que representan las serpientes (como en el caso de las especies venenosas), sino con la percepción que las personas tienen de las serpientes. En este sentido, en México existe muy poca información al respecto y se desconoce el número de serpientes que se pudieran estar sacrificando anualmente a causa del temor o la aversión, pero el sacrificio intencional de serpientes es una práctica común en cualquier comunidad rural o indígena de México. En las encuestas realizadas en los estados del norte del país (Baja California, Baja California sur, Chihuahua, Sonora y Sinaloa) se observó que el 76 % de los pobladores encuestados elimina a las serpientes por el temor que les tienen (Ávila-Villegas, 2017).

Las serpientes son uno de los grupos más vulnerables a los efectos directos e indirectos de las carreteras (Andrews *et al.*, 2008) y existen muchos estudios que evalúan la mortalidad de serpientes por atropello vehicular. Las serpientes son vulnerables a los atropellos porque en muchas ocasiones utilizan las carreteras para regular su temperatura corporal (Rincón-Aranguri *et al.*, 2019) y también suelen utilizar microhábitats ubicados en los márgenes de las carreteras (Caletrio *et al.*, 1996). La alta densidad y frecuencia del tráfico puede coincidir con movimientos estacionales específicos (hibernación, forrajeo, migración, búsqueda de sitios de reproducción, etc.), lo cual incrementa la susceptibilidad de mortalidad directa (Andrews y Jochimsen, 2006). Además, son animales de movimientos relativamente lentos, (Rosen y Lowe, 1994), y se ha documentado que son objeto de atropellos intencionales (Andrews y Gibbons, 2005).

Existen tan solo seis estudios publicados sobre la mortalidad de serpientes en carreteras de México, los cuales se realizaron en Nuevo León (Lazcano-Villareal *et al.*, 2009, 2017), el istmo de Tehuantepec en Oaxaca (Grosselet *et al.*, 2009), parte de la costa de Michoacán (Martínez-Hernández, 2011), el sur de Quintana Roo (Köhler *et al.*, 2016a, 2026b) y un tramo de carretera en el centro de Veracruz (Cervantes-Huerta *et al.*, 2017). La tasa de mortalidad más alta (0,57 individuos por kilómetro por día) se presentó en el estudio realizado en el istmo de Tehuantepec (Grosselet *et al.*, 2009). Es evidente la necesidad de afrontar el rezago existente en México en referencia al conocimiento de la magnitud y las características de los efectos que la construcción de carreteras tienen en la biodiversidad en general y en la fauna silvestre en particular (Puc-Sánchez *et al.*, 2013).

El tráfico ilegal de especies es una industria potente a escala mundial, comparable únicamente con el tráfico de drogas y armas y cuyas transacciones se estima se sitúan entre 7.000 millones y 23.000 millones de dólares estadounidenses anuales (Sosa-Escalante, 2011; Masés-García *et al.*, 2021). Asimismo, existen estudios para analizar las consecuencias de estas prácticas en las poblaciones de anfibios y reptiles

(Schlaepfer *et al.*, 2005). Algunos de ellos mencionan específicamente el tráfico de serpientes y pieles de reptiles (Dodd, 1986; Jenkins y Broad, 1994; Fitzgerald y Painter, 2000; Zhou y Jiang, 2004).

Aunque se ha avanzado en la aplicación de la Ley General de Vida Silvestre de México, no es posible afirmar que se haya terminado el tráfico ilegal (Sosa–Escalante, 2011), y existen pocos estudios que evalúen esta práctica. Se sabe que el tráfico ilegal se debe a diversos factores y que está relacionado con el uso tradicional de las serpientes como alimento, producto medicinal o incluso con fines mágicos y religiosos, razón por la cual anteriormente era común observar la venta de grandes cantidades de serpientes en mercados populares de todo el país, así como de su carne seca o de píldoras a base de serpiente de cascabel y pomadas o cinturones hechos con piel de serpientes (Ávila–Villegas, 2017). Otro factor importante que propicia el tráfico ilegal de especies en México es su captura para la venta como mascotas (Ávila–Villegas, 2017). En este sentido, Oaxaca es uno de los principales estados de México donde se captura fauna silvestre para abastecer el mercado ilegal internacional (Masés–García *et al.*, 2021). Estos autores indican que, en total, se capturan ilegalmente 226 especies en este estado, de las cuales, 32 son serpientes.

Por otra parte, algunos autores consideran que la captura con fines científicos es una actividad que puede poner en riesgo a ciertas especies (Lynch y Angarita–Sierra, 2016; Ávila–Villegas, 2017) y aumentar el riesgo de extinción de las poblaciones pequeñas y aisladas (Mintneer *et al.*, 2014). Aunque existen muchos descubrimientos significativos y usos establecidos para las colecciones científicas, desafortunadamente hay casos en que los investigadores no capturan los animales de forma responsable (Henen, 2016). En México, no se cuenta con un análisis del efecto de la captura con fines científicos en la biodiversidad, por lo que se desconocen sus repercusiones.

Beneficios de las serpientes para los seres humanos

Todas las serpientes son carnívoras (Greene, 1997) y juegan un papel fundamental como depredadores en el ecosistema al influir en el flujo de nutrientes (Pradhan *et al.*, 2014). Además, dado que muchas de ellas se alimentan de roedores, cumplen una función importante como controladoras de plagas (Fitch, 1949; Gayen *et al.*, 2017), sobre todo en zonas de cultivos (Ávila–Villegas, 2017), y algunas de ellas actúan también como dispersoras secundarias de semillas (Reiserer *et al.*, 2018). Además, las serpientes son presas de otros animales (Greene, 1997), por lo que contribuyen a la estabilidad de los ecosistemas (Ávila–Villegas, 2017) y pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del hábitat (Beaupre y Douglas, 2009).

Otro beneficio importante de las serpientes es el uso de su veneno para la salud humana. Las propiedades toxicológicas del veneno se han venido estudiando desde hace más de 400 años, y se han obtenido al menos 20 productos terapéuticos o de

diagnóstico a partir de componentes del veneno (Waheed *et al.*, 2017). Algunos de estos productos son el Captopril® (Enalapril, Lisinopril, Ramipril o Fosinopril, dependiendo de las modificaciones estructurales del Captopril), obtenido del veneno de *Bothrops jararaca* y utilizado para problemas de hipertensión, y el Agrastat® (tirofibán), obtenido de *Echis carinatus*, así como el Integilin® (eptifibatida), obtenido de *Sistrurus miliarius barbouri*, utilizados para el tratamiento de la enfermedad coronaria (Chan *et al.*, 2016; Waheed *et al.*, 2017; El–Aziz *et al.*, 2019). Otros componentes, como la contorstrina, obtenida del veneno de *Agkistrodon contortrix*, pueden inhibir el crecimiento y la metástasis del cáncer de mama y el melanoma (Waheed *et al.*, 2017). Asimismo, se ha observado que el veneno de varias especies de serpientes (p. ej., *Agkistrodon contortrix*, *A. rhodostoma* o *Naja naja*, entre otras) puede actuar sobre las células tumorales, por lo que es necesario realizar estudios para garantizar la seguridad y eficacia del uso de veneno de serpiente en la elaboración de medicamentos contra el cáncer (Calderon *et al.*, 2014).

Asimismo, a partir del veneno de las serpientes se ha aislado una gran cantidad de péptidos bioactivos que representan una fuente desconocida de nuevas aplicaciones médicas, aunque pocos de ellos han logrado llegar al mercado (Chan *et al.*, 2016). Algunas de estas toxinas son usadas como antiemorrágicos, antibióticos, inhibidores de la agregación plaquetaria, tratamientos para la esclerosis múltiple y la distrofia muscular, anticoagulantes, antitrombóticos o trombolíticos (Waheed *et al.*, 2017). Por lo tanto, es probable que con las mejoras tecnológicas en el campo del descubrimiento de fármacos, se logre identificar nuevos compuestos terapéuticos a partir del veneno de las serpientes (El–Aziz *et al.*, 2019).

Mitigación del conflicto entre los seres humanos y las serpientes

Debido a la problemática que presenta la relación entre las personas y las serpientes en distintas partes del mundo, se han realizado propuestas para minimizar los conflictos mediante su control o mitigación; algunas de ellas son: 1, educación ambiental; 2, prevención y gestión de accidentes ofídicos; 3, estrategias de manejo, conservación y aprovechamiento sostenible en México; 4, exclusión; 5, ahuyentamiento; 6, eliminación de fuentes de alimento y refugios potenciales; 7, translocación; 8, captura con trampas; y 9, control letal. Estas propuestas se detallan a continuación.

Educación ambiental

La difusión del conocimiento acerca de las serpientes es quizás la forma más efectiva de evitar su sacrificio, por lo tanto, la implementación de programas de educación ambiental es una alternativa a la resolución del conflicto entre los seres humanos y las serpientes (Sullivan *et al.*, 2014). Mediante estas actividades, se

puede capacitar a los pobladores con la finalidad de que aprendan a coexistir con las serpientes y que no sea necesario sacrificarlas ni reubicarlas. Sin embargo, cuando se trata de serpientes venenosas, esto resulta complicado.

En este sentido, los programas de educación ambiental relacionados con serpientes deben tener los siguientes objetivos: 1) que las personas aprendan a diferenciar las serpientes venenosas de las inofensivas; 2) mejorar el conocimiento que las personas tienen de estos organismos y difundir información acerca su biología, hábitos, función e importancia en el ecosistema, protocolos de accidentes ofídicos, incidencia de mordeduras de serpientes y manejo seguro de serpientes; 3) inculcar amor, respeto y admiración por estos animales.

La educación ambiental debería formar parte de los programas educativos de las escuelas, a fin de que todos los niños y jóvenes mexicanos puedan tener acceso a este tipo de información. Los esfuerzos adicionales deben centrarse en las comunidades donde existe mayor riesgo de contacto con serpientes o una mayor incidencia de mordeduras de serpientes venenosas.

Algunas actividades de educación ambiental pueden incluir la publicación y distribución de información, lo cual es una de las herramientas más poderosas para la conservación de la diversidad biológica, además de que, en el caso de las serpientes venenosas, contribuye a la prevención de accidentes (Lynch y Angarita-Sierra, 2016; Ávila-Villegas, 2017). Asimismo, se pueden impartir cursos, charlas y talleres para tratar de cambiar la percepción que tienen las personas de las serpientes. Este tipo de actividades interactivas en las que las personas pueden tener un contacto directo con animales son una herramienta importante en el aprendizaje y la actitud de formación (Kellert, 1985) y, gracias a ellas, se puede disipar el miedo y cultivar actitudes positivas (Ballouard *et al.*, 2012, 2013) y convertir el miedo y la ignorancia en conocimiento y admiración (Greene y Campbell, 1982; Morris, 2017).

Los herpetarios contribuyen de forma importante a estas actividades de educación ambiental, pues, además de que las personas pueden observar a los organismos vivos, obtienen información sobre distintos aspectos de su biología y ecología y acerca de su importancia, lo que ayuda a erradicar mitos y fomentar su protección. Existen asociaciones independientes en México dedicadas al estudio, la protección y la conservación de los anfibios y reptiles en las que se llevan a cabo diversas actividades de educación ambiental, difusión, investigación e incluso rescate y reubicación de serpientes, así como las relacionadas con los accidentes ofídicos; algunas de ellas se exponen en el Anexo 2.

Asimismo, México cuenta con dos asociaciones nacionales dedicadas al estudio y la conservación de los anfibios y reptiles: la Sociedad Herpetológica Mexicana y la Asociación para la Investigación y Conservación de los Anfibios y Reptiles de México. Además, desde hace cuatro años, se lleva a cabo en México un congreso específico sobre vipéridos mexicanos y ofidismo. Sin embargo, estas iniciativas

están dirigidas principalmente al público especializado (investigadores y académicos), por lo que es necesario que se organice un mayor número de actividades de educación ambiental para el público en general y que estén concebidas específicamente para las comunidades donde los accidentes ofídicos son recurrentes.

Otras iniciativas que se han llevado a cabo en México consisten en la formación de brigadas comunitarias de rescate y conservación de serpientes. Estas brigadas se han establecido dentro de tres áreas naturales protegidas del estado de Hidalgo y existe otra en la comunidad indígena Comcaac de Punta Chueca, en Hermosillo, Sonora. Las brigadas están conformadas por pobladores locales, capacitados tanto en aspectos biológicos de las especies como en el manejo seguro de los organismos y la atención prehospitalaria del accidente ofídico. De este modo, estos grupos organizados trabajan activamente en la conservación de las serpientes y minimizan los efectos del conflicto con estos organismos (CONANP, 2019; Savethesnakes, 2020a, obs. pers). Asimismo, en otras iniciativas han combinado el arte y la ciencia para conservar a las serpientes y reducir el conflicto entre estas y los seres humanos en la localidad de Catemaco, Veracruz (Savethesnakes, 2020b).

Medidas de prevención y gestión de accidentes ofídicos

Otra estrategia para mitigar el conflicto entre los seres humanos y las serpientes es la prevención de las mordeduras de serpiente y la mejora en la gestión de los accidentes ofídicos. En México, existen diversos trabajos en los que se formulan recomendaciones y medidas para evitar sufrir una mordedura de serpiente venenosa (Vázquez-Díaz y Quintero-Díaz, 2005; Fernández-Badillo *et al.*, 2011; Ávila-Villegas, 2017). Una de las principales recomendaciones es conocer las especies de serpientes venenosas del lugar en el que se habita o el que se pretende visitar (Ávila-Villegas, 2017). Sin embargo, resulta lamentable que siendo México el país con mayor cantidad de especies de serpientes venenosas de América (Campbell y Lamar, 2004), existen pocas publicaciones a escala nacional o regional que se centren en divulgar información veraz y completa al respecto y, en ocasiones, son de difícil acceso para los pobladores rurales. En este sentido, existe un único trabajo sobre todas las serpientes de México (Heimes, 2016), hay varios trabajos de divulgación acerca de las serpientes de cascabel (Ávila-Villegas, 2017; García-Padilla *et al.*, 2018) y un programa de acción para la conservación de las especies de cascabel del género *Crotalus* (SEMARNAT, 2018). Además de ello, unos cuantos estados de la República Mexicana cuentan con guías específicas de las especies de serpientes venenosas, la mayoría de los cuales contienen información referente a las mordeduras de serpiente (tabla 1).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha publicado un plan de acción para reducir en un 50 % las muertes por mordedura de serpiente para el 2030. Para lograrlo, la OMS plantea cuatro objetivos

o líneas de acción: 1) dar acceso a tratamientos seguros y eficaces, 2) empoderar e involucrar a las comunidades, 3) fortalecer los sistemas de salud y 4) promover la colaboración y coordinación mundial y la obtención de recursos (OMS, 2018; Williams *et al.*, 2019).

México cuenta con la producción de antídotos que se obtienen a partir del veneno de unas cuantas especies de dos de los 10 géneros de vipéridos mexicanos. El antídoto antiviperino de BIRMEX se fabrica a partir del veneno de *Bothrops asper* y *Crotalus basiliscus* (Segura *et al.*, 2015; Sánchez *et al.*, 2020; Neri–Castro *et al.*, 2020a), mientras que Antivipmyn®, producido por el Instituto Bioclon de los Laboratorios Silanes, utiliza veneno de *B. asper* y *C. simus* (Neri–Castro *et al.*, 2020a). En el caso de los coralillos, el único antídoto disponible en México (Coralmyn®), fabricado también por Bioclon, utiliza veneno de *Micrurus nigrocinctus* (Neri–Castro *et al.*, 2020a). Estos antídotos son capaces de neutralizar adecuadamente los componentes tóxicos del veneno de otras especies (Sánchez *et al.*, 2019). Por otro lado, se ha demostrado que la composición del veneno de las serpientes varía entre especies y que incluso puede variar entre los individuos de una misma especie, dependiendo de la edad, la distribución geográfica, la dieta, las condiciones ambientales, el estrés o la variabilidad genética entre de los individuos (Chippaux *et al.*, 1991; Borja *et al.*, 2018a, 2018b; Healy *et al.*, 2018; Neri–Castro *et al.*, 2020a). Lo anterior hace necesario continuar con las investigaciones de los venenos de otras especies, no solo para entender mejor sus componentes y mecanismos de acción, sino también para identificar posibles puntos débiles de los antídotos actuales y subsanarlos (Chippaux *et al.*, 1991). Hasta la fecha, en México se han publicado diversos estudios con veneno de ejemplares de 35 de las 90 especies de serpientes venenosas distribuidas en el país (Neri–Castro *et al.*, 2020a). De todas las especies estudiadas (35), 29 corresponden a vipéridos y siete a elápidos (anexo 1).

Por otro lado, en México se cuenta con dos redes importantes de prevención y gestión de los accidentes ofídicos: la Red de Ayuda para el Accidente Ofídico de la Universidad Nacional Autónoma de México (Red AO–UNAM) y la Red Internacional de Centros de Referencia para el Control y Tratamiento de las Intoxicaciones por Animales Ponzofosos (Redtox). Esta última cuenta con una aplicación para celular que permite obtener información biológica de las especies y los datos de contacto de especialistas, encontrar centros de atención y acceder a información general acerca del accidente ofídico.

Sin embargo, la distribución y la disponibilidad de los antídotos son un problema importante, ya que en zonas rurales o comunidades muy alejadas no se tiene acceso a ellos. En muchos lugares de México, los pobladores siguen recurriendo a remedios tradicionales, culebreros (personas que se dedican a atender las mordeduras de serpiente a partir del uso de plantas medicinales y remedios tradicionales) y prácticas poco eficaces para contrarrestar los efectos de un envenenamiento grave.

Los antídotos cuentan con una fecha de caducidad y, de acuerdo con las leyes mexicanas (Ley General de Salud, DOF, 2020), una vez vencida dicha fecha, queda prohibida su venta y suministro y deben destruirse (Hernández–Barrios *et al.*, 1995; DOF, 2012, 2018a). Sin embargo, la efectividad de los antídotos no disminuye aún después de 20 años de la fecha de caducidad (Sánchez *et al.*, 2019), por lo que es necesario realizar más estudios para evaluar la efectividad neutralizante de los antídotos mexicanos caducos, con la finalidad de poder modificar los criterios actuales y seguir utilizándolos. Ante la alarmante escasez mundial de antídotos, los productos caducos pueden brindar una alternativa para el tratamiento de mordeduras de serpiente (Sánchez *et al.*, 2019).

Estrategias de manejo, conservación y aprovechamiento sostenible en México

En México existen normas y leyes que permiten y regulan el manejo de la fauna silvestre y que consideran además medidas para asegurar el trato digno y respetuoso de los animales, para poder llevar a cabo acciones de conservación, reproducción, aprovechamiento sostenible o control (Hernández–Silva *et al.*, 2018). Estas actividades se encuentran reguladas principalmente por la Ley General de Vida Silvestre y su Reglamento (DOF, 2014, 2018b) y se apoyan también en la Norma Oficial Mexicana Ecol–059–2010 (DOF, 2019).

Por otro lado, en México existen las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA), que permiten lograr la conservación de especies y su aprovechamiento sustentable, primordialmente de especies nativas. De esta forma y sobre la base de un plan de manejo autorizado por la SEMARNAT, las UMA tienen como objetivo general la conservación del hábitat natural, las poblaciones y los ejemplares de especies de vida silvestre nativos, y pueden tener objetivos específicos como la restauración, la protección, el mantenimiento, la reproducción, la reintroducción, la investigación, la educación ambiental y el aprovechamiento sustentable, entre otros (DOF, 2014, 2018b). Existen también los Predios Intensivos de Manejo de Vida Silvestre (PIMVS), cuyo objetivo principal es la reproducción controlada para el aprovechamiento comercial de las especies (DOF, 2014, 2018b), ya sean nativas o exóticas. En el país existen distintas UMA y PIMVS, en los que se mantienen serpientes en cautiverio (herpetarios o serpentarios). Para que un herpetario contribuya a la conservación de las especies, debe llevar a cabo actividades de educación ambiental, de formación de profesionistas en la materia, de investigación y de aprovechamiento sustentable (Ávila–Villegas, 2017). En México existen algunos herpetarios que cumplen con todos o con la mayoría de estos criterios y están ubicados en 18 estados del país (anexo 3), aunque seguramente existen algunos más que cumplen con estas características, pero que lamentablemente no conocemos y que no logramos incluir en este apartado.

En cuanto a otras estrategias de conservación específicas para serpientes, la única existente en México

Tabla 1. Relación de los estados o regiones de la República Mexicana que cuentan con guías específicas sobre serpientes venenosas.

Table 1. States or regions in the Mexican Republic that have specific guidebooks on poisonous snakes.

Estado o región	Autor
Aguascalientes	Sigala-Rodríguez y Vázquez-Díaz (1996)
Chiapas	Luna-Reyes y Suárez-Valásquez (2008); Suárez-Valásquez y Luna-Reyes (2009)
Hidalgo	Fernández-Badillo <i>et al.</i> (2011); Fernández-Badillo (2017)
Querétaro	Cruz-Pérez <i>et al.</i> (2018)
Michoacán	Alvarado-Díaz y Suazo-Ortuño (2006)
Nuevo León	Lazcano-Villareal <i>et al.</i> (2010)
Tabasco	Ojeda-Morales (2004)
Yucatán	Escalante-Chan <i>et al.</i> (2017)
Península de Yucatán	Llamosa-Neumann (2005)
Noroeste de México	Gatica-Colima (2013)

es el Programa de Acción para la Conservación de las especies del género *Crotalus* (SEMARNAT, 2019) que, sin duda, es una herramienta de suma importancia para lograr la conservación de las serpientes de cascabel, ya que México es el país con la mayor diversidad de cascabeles (Campbell y Lamar, 2004).

Medidas de exclusión

Otra propuesta de control ha sido el uso de cercos para impedir que las serpientes entren a algunos sitios. Para ello se propone el uso de una malla de por lo menos 1,8 metros de altura, en la que los primeros 60 cm sean de malla de $\frac{1}{4}$ de pulgada, el exterior debe ser lo más liso posible y la cerca debe tener una inclinación de 30° para evitar que las serpientes puedan trepar. Alrededor de la cerca debe haber un área de por lo menos 60 cm sin arbustos ni árboles, y tampoco deben haber arbustos ni árboles sobresaliendo de la cerca. La cerca debe estar enterrada entre 30 y 60 cm bajo el suelo, para evitar que los mamíferos puedan cavar túneles que permitan el acceso de las serpientes y, además, se debe hacer un mantenimiento continuo a la cerca para detectar posibles huecos o túneles y sellarlos (Klauber, 1982; Parkhurst, 2019). Este método es costoso y solo es útil si el área a proteger es pequeña, como un patio de recreo infantil (Klauber, 1982), por lo que puede no resultar una medida viable, sobre todo en zonas rurales de México.

Medidas de ahuyentamiento

La creencia de que existen sustancias que repelen a las serpientes o evitan su mordedura es muy antigua (Klauber, 1982) y, con ese fin, se han utilizado diversos productos, plantas y remedios: ácido cianhídrico, arsénico, creosota, DDT, gas de cloro, gas de carbón,

dióxido de carbono, bolas de naftalina, sulfato de nicotina y espray de pimienta, entre muchos otros (Klauber, 1982; Julian y Woodward, 1985). También se han usado algunos productos comerciales, como Snake Away®, Snake B Gon®, Snake Defense®, Snake Out®, Snake Shield®, Snake Stopper®, Sure-guard Snake Repellens®, entre otros. Otros productos naturales que se han empleado como repelentes son el ajo y cebolla (Klauber, 1982) o aceites de diversas especies de plantas (Kraus *et al.*, 2015), incluso se ha sugerido el uso de olor artificial de zorrillo o el almizcle de serpientes como *Lampropeltis getula* (San Julian y Woodward, 1985). Sin embargo, no existe realmente ninguna sustancia química, gas, aceite o producto que permita ahuyentar a las serpientes (San Julian y Woodward, 1985; Mengak, 2004; Parkhurst, 2019).

Otra alternativa ha sido el uso de competidores por el alimento o enemigos naturales de las serpientes venenosas. Klauber (1982) menciona, específicamente para el control de serpientes de cascabel, el uso de ciervos, tejones, halcones cola roja o serpientes inofensivas de los géneros *Lampropeltis* y *Pituophis*, así como algunos animales domésticos como los cerdos. Estas prácticas pueden resultar desastrosas y, actualmente, se sabe que las especies exóticas invasoras están causando cambios drásticos en los sistemas ecológicos, alteran profundamente las comunidades y los ecosistemas, contribuyen al descenso de la diversidad biológica (Falaschi *et al.*, 2020) y dañan los servicios ecosistémicos (Gallardo *et al.*, 2019). Además, junto con otras amenazas, estas prácticas están catalogadas como impulsoras de la extinción de especies (Dueñas *et al.*, 2021).

Es más recomendable evitar el sacrificio de las serpientes no venenosas de una zona determinada, ya que son las competidoras naturales de serpientes

venenosas como las víboras de cascabel, de tal forma que, cuantos más roedores consuman las serpientes inofensivas, menos alimento habrá para las serpientes de cascabel (Klauber, 1982). En el caso de México, existen varios géneros de serpientes no venenosas que, debido a su tamaño (superior al metro de longitud), pueden resultar excelentes aliadas en el control de especies venenosas, por lo que se recomienda no sacrificarlas. Tal es el caso de las especies de los géneros *Clelia* y *Drymarchon* y de algunas especies del género *Lampropeltis* (*L. californiae*, *L. polyzona*, *L. splendida*) y del género *Masticophis* (ejem: *M. flagellum*).

Medidas para eliminar alimento y refugios potenciales

Uno de los métodos más eficaces que se han propuesto para minimizar la presencia de serpientes en viviendas o zonas habitadas por personas consiste en eliminar las fuentes de alimento y los posibles refugios para las serpientes y sus presas (Brock y Howard, 1962; Klauber, 1982; Parkhurst, 2019). Para ello es necesario almacenar en recipientes herméticos todo el alimento que pudiera atraer a ratas, ratones, ardillas y otros roedores que son el alimento principal de las serpientes (Klauber, 1982). También es necesario limpiar los alrededores de las viviendas; evitar la acumulación de madera, escombros, cercos de roca, basura, arbustos o cualquier cosa que pudiera funcionar como un refugio para serpientes o ratones (Klauber, 1982; Mengak, 2004), y tapar las madrigueras de roedores que se encuentren (Klauber, 1982).

Aunque estas prácticas pueden resultar útiles y se han empleado en otros países, en las zonas rurales y periurbanas de México resulta imposible, porque se utilizan cercos de piedra, cercos vivos u otro tipo de elementos naturales para la delimitación de las propiedades. Además, es común que los animales de compañía, las aves de corral e incluso el ganado estén sueltos o en corrales fabricados con troncos o roca, y que se alimenten directamente en el suelo o en comederos rústicos que permiten el acceso a los roedores, de tal forma que las serpientes son visitantes o residentes comunes en estos sitios. Además, esto no disminuye inmediatamente el número de serpientes, debido a su capacidad de pasar periodos largos sin alimento (Brock y Howard, 1962).

Translocación

La translocación, que se refiere al traslado de animales silvestres para liberarlos en otra localidad (Nielsen y Brown, 1988), se ha utilizado extensamente con diversos fines (Craven *et al.*, 1998), incluso como medida de mitigación del conflicto entre los seres humanos y la fauna silvestre, para lo cual se transloca la fauna nociva a zonas donde no entre en conflicto con los humanos (Sullivan *et al.*, 2014). En este sentido, se reconocen dos tipos de translocaciones (Hardy *et al.*, 2001): las de larga distancia (TLD) o fuera del ámbito hogareño de la especie y las de corta distancia (TCD) o dentro del ámbito hogareño.

La efectividad de la translocación en la mitigación del conflicto entre los seres humanos y las serpientes se ha evaluado principalmente en zonas urbanas (Sealy, 1997; Reinert y Rupert 1999; Nowak *et al.*, 2002; Kinsbury y Attum, 2009; Massei *et al.*, 2010; Devan–Song *et al.*, 2016; Holding *et al.*, 2014; Sullivan *et al.*, 2014; MacGowan *et al.*, 2017; Pitts *et al.*, 2017), y se ha observado que en las TLD las serpientes translocadas presentan mayor movilidad y poca fidelidad a los sitios de liberación (debido a que no reconocen el nuevo territorio), así como un incremento de la tasa de mortalidad (Reinert y Ruppert, 1999; Nowak *et al.*, 2002; Devan–Song *et al.*, 2016; Sullivan *et al.*, 2014). Por ejemplo, en el caso de las serpientes de cascabel de Norteamérica se ha detectado que la mortalidad se encuentra principalmente asociada al periodo invernal (King *et al.*, 2004; Harvey *et al.*, 2014), debido a que las serpientes translocadas no logran encontrar hibernáculos adecuados y son menos capaces de sobrevivir al invierno (Nowak y Ripper, 1999). En otros casos, la mortalidad de los ejemplares translocados ha estado asociada a los depredadores naturales (Devan–Song *et al.*, 2016).

Sin embargo, también se ha observado que en zonas con climas más cálidos no existen diferencias en la supervivencia de ejemplares translocados a larga distancia y ejemplares residentes, por lo que se recomienda este tipo de translocación como una opción viable (con ciertas especies de serpientes) para mitigar el conflicto entre los seres humanos y las serpientes (Corbit, 2015).

Además, para los ejemplares residentes, la liberación de ejemplares nuevos representa un riesgo por la posible introducción de enfermedades como el paramixovirus (Nowak *et al.*, 2002) y por las posibles alteraciones en la genética poblacional (Massei *et al.*, 2010). Por otro lado, con las TCD, no se ha observado que las serpientes translocadas modifiquen su conducta ni sus patrones normales de actividad, ni que se haya modificado la dimensión de su zona de actividad ni incrementado la tasa de mortalidad (Brown *et al.*, 2009). Incluso se ha observado que las serpientes tampoco se ven afectadas por el estrés a causa de la captura y el manejo repetido durante las translocaciones (Holding *et al.*, 2014). Sin embargo, la TCD a medio y largo plazo no resuelve el conflicto entre los seres humanos y las serpientes, ya que los ejemplares translocados tienden a regresar a las zonas de captura (Brown *et al.*, 2009; Corbit, 2015) y, aunque al parecer tratan de evitar los sitios específicos de la captura (Sealy, 1997), permanecen en zonas donde generan conflicto.

De acuerdo con Sullivan *et al.* (2014), las translocaciones como medida de mitigación deben tener en cuenta aspectos como la ecología, el comportamiento, la sociabilidad y los requerimientos de hábitat para asegurar la supervivencia y persistencia de los ejemplares translocados. En este sentido, contar con información acerca del uso y selección del hábitat de las serpientes permite a los investigadores conocer cuáles son los componentes del hábitat más utilizados (Reinert, 1993), así como aquellos que contribuyen al éxito reproductivo y la supervivencia (Block y Brennan, 1993). Además,

esto permite conocer aspectos sobre la hibernación (Olson *et al.*, 2015) y los patrones de movimiento y actividad diarios y estacionales (Nowak *et al.*, 2002).

No existe ningún estudio publicado en el que se evalúe el efecto de la translocación de serpientes en México ni su uso como medida para la mitigación del conflicto entre los seres humanos y las serpientes. Sin embargo, es común que los biólogos, las asociaciones civiles e incluso las instituciones gubernamentales (p. ej. la CONANP, la Procuraduría Federal de Protección del Ambiente [PROFEPA]), lleven a cabo translocaciones y liberaciones de ejemplares, y difundan estas acciones a través de la prensa o las redes sociales. Sin embargo, en la mayoría de los casos, estas actividades se realizan sin conocer el ámbito hogareño de la especie ni su uso del hábitat, sin un previo análisis de los impactos posibles, en ocasiones sin saber cómo, cuándo y dónde es más adecuado realizar la liberación en función de la especie de que se trate y sin un seguimiento y monitoreo de los ejemplares translocados. Por todo ello, es necesario que estas actividades las lleven a cabo expertos o que estén basadas en estudios científicos bien detallados. Lamentablemente, como existen muy pocos estudios sobre el uso del hábitat y la ecología de las especies venenosas de México, es imprescindible generar este tipo de información para poder tomar decisiones más adecuadas al respecto.

Captura con trampas

Se pueden utilizar distintos tipos de trampas para capturar vivas a las serpientes, como las trampas de caída, solas o acompañadas de cercos de desvío, y las trampas de embudo (Foster, 2012). Asimismo, aunque se ha recomendado el uso de trampas de pegamento (Mengak, 2004), es muy común que las serpientes mueran adheridas a las trampas, además, estas trampas no son selectivas y muchos otros animales podrían adherirse y morir, por lo que no se recomienda su uso.

Debido a que los intervalos de alimentación de las serpientes son muy espaciados e irregulares, el uso de trampas con cebos no funciona tan bien como con los mamíferos y las aves (Klauber, 1982). Además, las trampas de caída deben ser lo suficientemente grandes para evitar que las serpientes que hayan caído en la trampa escapen y deben colocarse en grandes cantidades (Foster, 2012), por lo tanto, su uso puede resultar caro y laborioso y no asegura el control total de las serpientes alrededor de una casa; por consiguiente, es una práctica poco viable para la mayoría de las comunidades rurales o periurbanas de México.

Cabe considerar, además, que las trampas las debe utilizar personal experimentado y que se requieren los permisos y autorizaciones correspondientes para la captura y manipulación de los ejemplares; asimismo, los ejemplares capturados deben ser translocados y se debe evitar su sacrificio.

Medidas de control letal

Algunos autores sugieren que la solución más práctica y menos costosa al conflicto entre los seres humanos

y las serpientes es el sacrificio de ejemplares (Massei *et al.*, 2010). En este sentido, se han mencionado métodos como el uso de fuego, el sacrificio de los ejemplares en su refugio, (Klauber, 1982), la detonación con dinamita de los hibernáculos de invierno (Brock y Howard, 1962), la búsqueda constante y el sacrificio de ejemplares (Brock y Howard, 1962). Por otro lado, se ha sugerido el uso de animales domésticos como gallinas, patos o gansos, que matan serpientes venenosas e inofensivas de tamaño generalmente reducido, y hasta el entrenamiento de perros y gatos para matar serpientes (Brock y Howard, 1962). Uno de los métodos más comunes es simplemente sacrificar a las serpientes en cuanto se les encuentra (Ávila-Villegas, 2017).

En México existen 193 especies de serpientes que se encuentran protegidas por la Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-059-2010. Para llevar a cabo medidas de control letal de forma legal se debe contar con una autorización para el manejo, el control y la resolución de problemas asociados a ejemplares o poblaciones que se tornen perjudiciales (DOF, 2018b). Además, para que se puedan autorizar medidas de control, debe existir un estudio previo, se deben mostrar pruebas del daño causado y se deben proponer las medidas de manejo recomendadas y el destino o uso que se dará a los ejemplares. Sin embargo, en las comunidades rurales, los pobladores no realizan ningún trámite y simplemente sacrifican a los ejemplares.

Las serpientes son depredadores clave en los ecosistemas, principalmente en los agrícolas y de pastizales, ya que realizan un control eficaz de roedores, por lo que el sacrificio intencional de serpientes puede afectar las redes tróficas, alterar la dinámica poblacional depredador-presa y contribuir a la reducción de las poblaciones de serpientes. En último término, todas estas alteraciones en el ecosistema pueden afectar negativamente la salud humana (Pandey *et al.*, 2016). Por todo ello, el sacrificio intencional de serpientes va en contra de los esfuerzos de conservación y de la normativa que protege a las especies (Nowak y Ripper, 1999) y no debería considerarse como una opción viable para la resolución del conflicto entre los seres humanos y las serpientes, ya que las poblaciones de serpientes están decreciendo de forma alarmante debido principalmente a la pérdida de hábitat (Reading *et al.*, 2010), aunque también como consecuencia de la reducción de las poblaciones de anfibios (Zipkin *et al.*, 2020) o de la sobreexplotación humana (Chuanwu *et al.*, 2019).

Además de todo ello, el sacrificio intencional de serpientes incrementa enormemente el riesgo de sufrir una mordedura mortal (Whitaker y Shine, 2000), ya que muchas mordeduras ocurren cuando las personas tratan de matar, manipular o interactuar deliberadamente con una serpiente venenosa (Wasko y Bullard, 2016). Por lo tanto, resulta necesario buscar alternativas para evitar el sacrificio de serpientes, no solo dentro de Áreas Naturales Protegidas y con especies bajo alguna categoría de protección, sino con todas las especies y en todo el territorio donde se distribuyen naturalmente.

Consideraciones finales y recomendaciones

Aunque el miedo a las serpientes que son venenosas puede estar justificado, la percepción negativa de estos animales está influenciada en parte por mitos, falsas creencias y propaganda negativa, que confieren a las serpientes una imagen exageradamente dañina.

Sin embargo, pese al temor popular de morir a causa de una mordedura de serpiente venenosa, la mortalidad por este motivo en México se ha reducido considerablemente y la adecuada recuperación de un accidente de este tipo depende más de la calidad y eficacia del tratamiento que del veneno de la serpiente.

Para poder mitigar el conflicto entre los seres humanos y las serpientes, es necesario llevar a cabo medidas para proteger y conservar a las serpientes, mediante la investigación científica; la participación, capacitación y vinculación ciudadana; la difusión y la educación ambiental. Además, se debe trabajar activamente en el tema del accidente ofídico para promover una cultura de prevención y a su vez, fortalecer todos los aspectos relacionados con su tratamiento, tanto a nivel prehospitalario y hospitalario, así como entre los pobladores de zonas urbanas y rurales, para contar con una población más informada y con actitudes encaminadas a la protección y conservación de las serpientes.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca de doctorado otorgada al primer autor (número de becario 371195), a Guillermo Gil Alarcón, Edgar Neri Castro, Melisa Benard Valle, Miguel Borja Jiménez y Sergio Bárcenas Arriaga por la información proporcionada sobre el accidente ofídico y los estudios de venenos de serpientes mexicanas. A todos los que me proporcionaron contactos o información acerca de las actividades que se realizan en los distintos herpetarios, PIMVS, UMA, redes y asociaciones que trabajan en pro de la conservación de especies de serpientes mexicanas: Raúl Hernández Arciga, Laura Briseño, Eric Centenero, Ricardo Czaplewski, Felipe Agustín Lara Hernández, Víctor Velazquez, Miguel de la Torre Loranca, Gabriel del Valle, Fernando Frego, Guillermo Gil, Jacobo García Grajales, Alejandra Ham, Manuel Kim, Víctor Jiménez Arcos, Marco Antonio Lasserre Laborde, Ezequiel Loveira Rojas, Víctor Moreno Avendaño, Luis Pedro Ocampo Hernández, Ezequiel Julio Moreno Pérez, Javier Olivos Rivera, Javier Ortiz, Edgar Reina, Mario Reyna, Mauricio Rüed, Ariel Fernando Saldivar Flores, David Santollo, Fernando Toledo, Jonathan Torres, Alejandra Versategui Mendoza y Joaquín Villegas. Agradecemos también a los dos revisores anónimos por sus comentarios y sugerencias al manuscrito.

Referencias

Aguilar-López, J. L., 2016. Las serpientes no son como las pintan. *Ciencia*, 67: 6–13.

- Alvarado-Díaz, J., Suazo-Ortuño, I., 2006. Reptiles venenosos de Michoacán. *Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. Michoacán, México.
- Anderson, G., Waara, J., Jonsson, U., Malmaeus, F., Carlbring, P., Öst, L. G., 2013. Internet-based exposure treatment versus one-session exposure treatment of snake phobia: a randomized controlled trial. *Cognitive Behaviour Therapy*, 42: 284–291.
- Andrews, K. M., Gibbons, J. W., 2005. How do highways influence snake movement? Behavioral responses to roads and vehicles. *Copeia*, 2005: 772–782.
- Andrews, K. M., Gibbons, J. W., Jochimsen, D. M., Mitchell, J., 2008. Ecological effects of roads on amphibians and reptiles: A literature review. *Herpetological Conservation*, 3: 121–143.
- Andrews, K. M., Jochimsen, D., 2006. *Literature synthesis of the effects of roads and vehicles on amphibians and reptiles*. Federal Highway Administration (FHWA), U.S. Department of Transportation, Report No. FHWA-HEP-08-005. Washington, D.C.
- Arnaud-Franco, G., Cordero-Tapia, A., Ortíz-Ávila, V., Moctezuma-González, C. L., Tejocote-Pérez, M., Carbajal-Saucedo, A., 2018. Comparison of biological and biochemical characteristics of venom from rattlesnakes in the southern Baja California Peninsula. *Toxicon*, 148: 197–201.
- Archundia, I. G., de la Rosa, G., Olvera, F., Calderón, A., Benard-Valle, M., Alagón, A., Corzo, G., 2021. Assessment of neutralization of *Micrurus* venoms with a blend of anti-*Micrurus tener* and anti-ScNtx antibodies. *Vaccine*, 39: 1000–1006.
- Ávila-Villegas, H., 2017. *Serpiente de cascabel. Entre el peligro y la conservación*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Ballouard, J. M., Provost, G., Barré, D., Bonnet, X., 2012. Influence of a field trip on the attitude of schoolchildren toward unpopular organism: an experience with snakes. *Journal of Herpetology*, 46: 423–428.
- Ballouard, J. M., Ajtic, R., Balint, H., Brito, J. C., Crnobrnja-Isailovic, J., Desmots, D., ElMouden, E. H., Erdogan, M., Feriche, M., Pleguezuelos, J. M., Prokop, P., Sánchez, A., Santos, X., Slimani, T., Tomovic, L., Usak, M., Zuffi, M., Bonnet, X., 2013. Schoolchildren and one of the most unpopular animals: are they ready to protect snakes? *Anthrozoös*, 26: 93–109.
- Beaupre, S. J., Douglas, L. E., 2009. Snakes as indicators and monitors of ecosystem properties. In: *Snakes: Ecology and Conservation*: 224–226 (S. J. Mullin, R. A. Seigel, Eds.). Cornell University Press, USA.
- Benard-Valle, M., Carbajal-Saucedo, A., de Roodt, A., López-Vera, E., Alagón, A., 2014. Biochemical characterization of the venom of the coral snake *Micrurus tener* and comparative biological activities in the mouse and a reptile model. *Toxicon*, 77: 6–15.
- Benard-Valle, M., Neri-Castro, E., Yañez-Mendoza,

- M. F., Lomonte, B., Olvera, A., Zamudio, F., Restano-Cassulini, R., Possani, L. D., Jiménez-Ferrer, E., Alagón, A., 2020. Functional, proteomic and transcriptomic characterization of the venom from *Micrurus browni browni*: Identification of the first lethal multimeric neurotoxin in coral snake venom. *Journal of Proteomics*, 225: 103863.
- Blair, C., Bryson, R. W., Linkem, C. W., Lazcano, D., Kicka, J., McCormack, J. E., 2018. Cryptic diversity in the Mexican highlands: Thousands of UCE loci help illuminate phylogenetic relationships, species limits and divergence times of montane rattlesnakes (Viperidae: *Crotalus*). *Molecular Ecology Resources*, Doi: [10.1111/1755-0998.12970](https://doi.org/10.1111/1755-0998.12970)
- Block, W. M., Brenan, L. A., 1993. The habitat concept in ornithology. Theory and applications. In: *Current Ornithology*, Volume II: 35–91 (D. M. Power, Ed.). Plenum Press, New York, USA.
- Borja, M., Neri-Castro, E., Castañeda-Gaytán, G., Strickland, J. L., Parkinson, C. L., Castañeda-Gaytán, J., Ponce-López, R., Lomonte, B., Olvera-Rodríguez, A., Alagón, A., Pérez-Morales, R., 2018b. Biological and proteolytic variation in the venom of *Crotalus scutulatus scutulatus* from Mexico. *Toxins*, 10: 35.
- Borja, M., Neri-Castro, E., Pérez-Morales, R., Strickland, J. L., Ponce-López, R., Parkinson, C. L., Espinosa-Fernández, J., Saenz-Mata, J., Flores-Martínez, E., Alagón, A., Castañeda-Gaytán, G., 2018a. Ontogenetic change in the venom of the Mexican Black-Tailed Rattlesnake (*Crotalus molossus nigrescens*). *Toxins*, 10: 501.
- Braga, J. R. M., Jorge, A. R. C., Marinho, A. D., Silveira, J. A., Nogueira-Junior, F. A., Bénard-Valle, M., Alagón, A., de Menezes, R. R. P. B., Martins, A. M. C., Feijão, L. X., Monteiro, H. S. A., Jorge, R. J. B., 2020. Renal effects of venoms of Mexican coral snakes *Micrurus browni* and *Micrurus laticollaris*. *Toxicon*, 181: 45–52.
- Branch, W. R., Hacke, W. D., 1980. A fatal attack on a young boy by an African Rock Python *Python sebae*. *Journal of Herpetology*, 14: 305–307.
- Brock, E. M., Howard, W. E., 1962. Control methods for snakes. *Proceedings of the 1st vertebrate pest conference*, 4: 18–31.
- Brown, J. R., Bishop, C. A., Brooks, R. J., 2009. Effectiveness of short-distance translocations and its effects on western Rattlesnakes. *Journal of Wildlife Management*, 73: 419–425.
- Burghardt, G. M., Murphy, J. M., Chizar, D., Hutchins, M., 2009. Combating ophidiophobia: Origins, treatment, education and conservation tools. In: *Snakes: Ecology and Conservation*: 262–280 (S. J. Mullin, R. A. Seigel, Eds.). Cornell University Press, USA.
- Calderon, L. A., Sobrinho, J. C., Zaqueo, K. D., de Moura, A. A., Grabner, A. N., Mazzi, M. V., Marcussi, S., Nomizo, A., Fernandes, C. F. C., Zulani, J. P., Carvalho, B. M. A., da Silva, S. L., Stábeli, R. G., Soares, A. M., 2014. Antitumoral activity of snake venom proteins: New trends in cancer therapy. *BioMed Research International*, Doi: [10.1155/2014/203639](https://doi.org/10.1155/2014/203639)
- Caletrio, J., Fernández, J. M., López, J., Roviralta, F., 1996. Spanish national inventory on road mortality of vertebrates. *Global Biodiversity*, 5: 15–18.
- Campbell, J. A., Lamar, W. W., 2004. *The venomous reptiles of the Western Hemisphere*, vols. 1–2. Comstock, Ithaca, New York.
- Cândido de França, R., Souza-Germano, C. E., Rodrigues-França, F. G., 2017. Composition of a snake assemblage inhabiting an urbanized area in the Atlantic forest of Paraíba State, Northeast Brazil. *Biota Neotropica*, 12: 183–195.
- Carbajal-Márquez, R. A., Cedeno-Vázquez, J. R., Martínez, A., Neri-Castro, E., Machkour-M'Rabet, S. C., 2020. Accessing cryptic diversity in Neotropical rattlesnakes (Serpentes: Viperidae: *Crotalus*) with the description of two new species. *Zootaxa*, 4729: 451–481.
- Carbajal-Saucedo, A., López-Vera, E., Bénard-Valle, M., Smith, E. N., Zamudio, F., de Roodt, A. R., Olvera-Rodríguez, A., 2013. Isolation, characterization, cloning and expression of an alpha-neurotoxin from the venom of the Mexican coral snake *Micrurus laticollaris* (Squamata: Elapidae). *Toxicon*, 66: 64–74.
- Casas-Andreu, G., 2000. Mitos y realidades de los reptiles en México. *Ciencia Ergo Sum*, 7:286–291.
- Cervantes-Huerta, R., Escobar, F., García-Chávez, J. H., González-Romero, A., 2017. Atropellamiento de vertebrados en tres tipos de carretera de la región montañosa central de Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 33: 472–481.
- Chan, Y. S., Cheung, R. C. F., Xia, L., Wong, J. H., Ng, T. B., Chan, W. Y., 2016. Snake venom toxins: toxicity and medical applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100: 6165–6181.
- Chippaux, J. P., Williams, V., White, J., 1991. Snake venom variability: Methods for study, results and interpretation. *Toxicon*, 29: 1279–1303.
- Chippaux, J. P., 2017. Snakebite envenomation turns again into a neglected tropical disease. *Journal of venomous animals and toxins including tropical diseases*, 23: 38, Doi: [10.1186/s40409-017-0127-6](https://doi.org/10.1186/s40409-017-0127-6)
- Chuanwu, C., Yanfu, Q., Xianfeng, Z., Yanping, W., 2019. Human overexploitation and extinction risk correlates of Chinese snakes. *Ecography*, 42: 1777–1788.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), 2019. *Brigada de rescate y conservación de serpientes en Barranca de Metztitlán*, <https://www.gob.mx/conanp/articulos/brigada-de-rescate-y-conservacion-de-serpientes-en-barranca-de-metzitlanu> [Consultado el 10 marzo 2021].
- Conover, M. R., 2001. *Resolving Human-Wildlife Conflicts: The Science of Wildlife Damage Management*. CRC Press, Florida, USA.
- Conover, M. R., Butikofer, E., Decker, D. J., 2018. Wildlife damage to crops: Perceptions of agricultural and wildlife leaders in 1957, 1987, and 2017. *Wildlife Society Bulletin*, 42: 551–558.
- Corbit, A. G., 2015. The dynamics of human and rattlesnake conflict in Southern California. Tesis doctoral, Loma Linda University.
- Craven, S., Barnes, T., Kania, G., 1998. Toward a professional position on the translocation of prob-

- lem wildlife. *Wildlife Society Bulletin*, 26: 171–177.
- Cruz-Pérez, M. S., López-Orozco, G., Centenero-Alcalá, E., 2018. *Guía Serpientes de importancia médica en el estado de Querétaro*. Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Querétaro/Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Cuesta Terron, C., 1931. Las representaciones ofídicas y simbólicas entre los Mayas, Toltecas y Mexicanos. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional de México*, 2: 73–76.
- Dashevsky, D., Bénard-Valle, M., Neri-Castro, E., Youngman, N. J., Zdenek, C. N., Alagón, A., Portes-Junior, J. A., Frank, N., Fry, B. G., 2020. Anticoagulant *Micrurus* venoms: Targets and neutralization. *Toxicology Letters*, 337, Doi: [10.1016/j.toxlet.2020.11.010](https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.11.010).
- Davey, G. C., 1995. Preparedness and phobias: specific evolved associations or a generalized expectancy bias? *Behavioral and Brain Sciences*, 18: 239–274.
- Davis, M. A., Douglas, M. R., Collyer, M. L., Douglas, M. E., 2016. Deconstructing a species-complex: Geometric morphometric and molecular analyses define species in the western rattlesnake (*Crotalus viridis*). *Plos One*, 11: e0146166, Doi: [10.1371/journal.pone.0146166](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146166)
- De Roodt, A. R., Estévez-Ramírez, J., Paniagua-Solís, J. F., Litwin, S., Carbajal-Saucedo, A., Dolab, J. A., Robles-Ortiz, L. E., Alagón, A., 2004. Toxicidad de venenos de serpientes de importancia médica en México. *Gaceta Médica de México*, 141: 13–21.
- Devan-Song, E. A., Martelli, P., Dudgeon, D., Crow, P., Ades, G., Karraker, N. E., 2016. Is long-distance translocation an effective mitigation tool for White-lipped Pit Vipers (*Trimeresurus albolabris*) in south China? *Biological Conservation*, 204B: 212–220, Doi: [10.1016/j.biocon.2016.10.013](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.013)
- Dodd, C. K. Jr., 1986. Importation of live snakes and snake products into the United States, 1977–1983. *Herpetological Review*, 17: 76–79.
- DOF (Diario Oficial de la Federación), 2012. *Norma Oficial Mexicana NOM-036-SSA2-2012, prevención y control de enfermedades. Aplicación de vacunas, toxoides, faboterápicos (sueros) e inmunoglobulinas en el humano*. Diario Oficial de la Federación, Texto vigente, México.
- 2014. *Reglamento de la Ley General de Vida Silvestre*. Diario Oficial de la Federación, Texto vigente, México.
- 2018a. *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Diario Oficial de la Federación, Texto vigente, México.
- 2018b. *Ley General de Vida Silvestre*. Diario Oficial de la Federación, Texto vigente, México.
- 2019. *Modificación de anexo normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT.2010, protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, publicada el 30 de diciembre de 2010*. Diario Oficial de la Federación, Texto vigente, México.
- 2020. *Ley General de Salud*. Diario Oficial de la Federación, Texto vigente, México.
- Dueñas, M. A., Hemming, D. J., Roberts, A., Diaz-Soltero, H., 2021. The threat of invasive species to IUCN-listed critically endangered species: A systematic review. *Global Ecology and Conservation*, 26: e01276.
- Durban, J., Sanz, L., Trevisan-Silva, D., Neri-Castro, E., Alagón, A., Calvete, J. J., 2017. Integrated venomomics and venom gland transcriptome analysis of juvenile and adult Mexican rattlesnakes *Crotalus simus*, *C. tzabcan* and *C. culminatus* revealed miRNA-modulated ontogenetic shifts. *Journal of Proteome Research*, 16: 3370–3390.
- El-Aziz, T. M. A., Garcia-Soares, A., Stockand, J. D., 2019. Snake venoms in drug discovery: Valuable therapeutic tools for life saving. *Toxins*, 11, Doi: [10.3390/toxins11100564](https://doi.org/10.3390/toxins11100564)
- Ermacorora, D., 2017. The comparative milk-suckling reptile. *Anthropozoologica*, 52: 59–81.
- Escalante-Chan, J., Franco-Zubieta, P., Sosa-Escalante, M., 2017. *Serpientes venenosas de Yucatán. Guía para la prevención y tratamiento de intoxicación por mordeduras*. Grupo para el conocimiento y la protección de los anfibios y reptiles, Yuumil Kaan, México.
- Falaschi, M., Melotto, A., Maneti, R., Ficetola, G. F., 2020. Invasive species and amphibian conservation. *Herpetologica*, 76: 216–227.
- Fernández-Badillo, L., Morales-Capellán, N., Goyenechea, I., 2011. *Serpientes venenosas del estado de Hidalgo*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo, México.
- Fernández-Badillo, L., Morales-Capellán, N., Olvera-Olvera, C. R., Montiel-Canales, G., Goyenechea, I., 2017. *Guía de las serpientes del Estado de Hidalgo*. Pachuca de Soto, Hidalgo, México.
- Fernández-Rubio, F., 2017. El impacto de las serpientes sobre la mente humana. *Argutorio*, 37: 75–88.
- Fitch, H., 1949. Study of Snake Populations in Central California. *American Midland Naturalist*, 41: 513–579.
- Fitzgerald, L. A., Painter, C. W., 2000. Rattlesnake commercialization: long-term trends, issues, and implications for conservation. *Wildlife Society Bulletin*, 28: 235–253.
- Foster, M. S., 2012. Standard techniques for inventory and monitoring. In: *Reptile Biodiversity: Standard methods for inventory and monitoring*: 205–272 (R. W. McDiarmid., M. S. Foster, C. Guyer, J. W. Gibbons, N. Chernoff, Eds.). University of California Press Ltd, Berkeley and Los Angeles, USA.
- Frayre-Torres, M. J., Sevilla-Godínez, E., Orozco-Valerio, M. J., Armas, J., Celis, A., 2006. Mortalidad por contacto traumático con serpiente y lagarto venenosos. México, 1979–2003. *Gaceta Médica de México*, 142: 209–213.
- Gallardo, B., Bacher, S., Bradley, B., Comín, F. A., Gallien, L., Jeschke, J. M., Sorte, C. J. B., Vilà, M., 2019. InvasiBES: Understanding and managing the impacts of invasive alien species on biodiversity and ecosystem services. *NeoBiota*, 50: 109–122.
- García-Osorio, B., Lomonte, B., Benard-Valle, M., López de León, J., Román-Domínguez, L., Mejía-Domínguez, N. R., Lara-Hernández, F., Alagón, A.,

- Neri-Castro, E., 2020. Ontogenetic changes in the venom of *Metlapilcoatlus nummifer*, the mexican jumping viper. *Toxicon*, 184: 204–2014.
- García-Padilla, E., Valdez-Villavicencio, J. H., Peralta-García A., 2018. Las serpientes de cascabel más allá del continente. *Especies*, 28: 6–15.
- Gatica-Colima, A. B., 2013. *Inventario de crotálicos en las zonas áridas del noreste de México*. Universidad de Ciudad Juárez. Instituto de Ciencias Biomédicas. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. GT032, Ciudad de México, México.
- Gayen, D., Dey, S., Roy, U. S., 2017. Diversity of snakes in and around Durgapur city, West Bengal, India. *Zoo's Print*, 32: 17–22.
- Gil-Alarcón, G., Sánchez-Villegas, M. C., Reynoso, V. H., 2011. Tratamiento prehospitalario del accidente ofídico: revisión, actualización y problemática actual. *Gaceta Médica de México*, 147: 195–208.
- González-Rivera, A., Chico-Aldama, P., Domínguez-Viveros, W., Iracheta-Gerez, M. L., López-Alquicira, M., Cuellar-Ramírez, A., Zamora, V., 2009. Epidemiología de las mordeduras por serpiente. Su simbolismo. *Acta Pediátrica Mexicana*, 30: 182–191.
- Grabowsky, E. R., Mackessy, S. P., 2019. Predator-prey interactions and venom composition in a high elevation lizard specialist, *Crotalus pricei* (Twin-spotted Rattlesnake). *Toxicon*, 170: 29–40.
- Greene, H. W., 1997. *Snakes: The evolution of mystery in nature*. University California Press, Berkley y Los Angeles, California, USA.
- Greene, H. W., Campbell, J., 1992. The future of pitvipers. In: *Biology of the Pitvipers*: 421–427 (J. Campbell, E. Brodie, Eds.). Selva, Taylor, Texas.
- Grosselet, M., Villa-Bonilla, B., Ruiz-Michael, G., 2009. Afectaciones a vertebrados por vehículos automotores en 1.2 km de carretera en el Istmo de Tehuantepec. *Actas del Cuarto Congreso Internacional Partners in Flight*, 1: 227–231.
- Guerrero-Garzón, J. F., Benard-Valle, M., Restano-Cassulini, R., Zamudio, F., Corzo, G., Alagón, A., Olvera-Rodríguez, A., 2018. Cloning and sequencing of three-finger toxins from the venom glands of four *Micrurus* species from Mexico and heterologous expression of an alpha-neurotoxin from *Micrurus diastema*. *Biochimie*, 147: 114–121.
- Gutiérrez, J. M., Calvette, J. J., Habib, A. G., Harrison, R. A., Williams, D. J., Warrell, D. A., 2017. Snakebite envenoming. *Nature Reviews Disease Primers*, 3: 17063, Doi: [10.1038/nrdp.2017.63](https://doi.org/10.1038/nrdp.2017.63)
- Hammerschlag, N., Gallagher, Z. J., 2017. Extinction risk and conservation of the earth's national animal symbols. *BioScience*, 67: 744–749.
- Hardy, D. L., Greene, H. W., Tomberlin, B., Webster, M., 2001. Relocation of nuisance Rattlesnakes: problems using short-distance translocation in a small rural community. *Sonoran Herpetologist*, 14: 1–3.
- Harvey, D. S., Lentini, A. M., Cedar, K., Weatherhead, P. J., 2014. Moving Massasaugas: Insight into Rattlesnake relocation using *Sistrurus c. catenatus*. *Herpetological Conservation Biology*, 9: 67–75.
- Healy, K., Carbone, C., Jackson, A. L., 2018. Snake venom potency and yield are associated with prey-evolution, predator metabolism and habitat structure. *Ecology Letters*, Doi: [10.1111/ele.13216](https://doi.org/10.1111/ele.13216)
- Heimes, P., 2016. *Herpetofauna Mexicana, Vol. 1. Snakes of Mexico*. Edition Chimaira, Frankfurt Am Main, Germany.
- Henen, B. T., 2016. Do scientific collecting and conservation conflict? *Herpetological Conservation Biology*, 11: 13–18.
- Hernández-Barrios, C., Fernández-Villagómez, G., Sánchez-Gómez, J., 1995. *Manual para el tratamiento y disposición final de medicamentos y fármacos caducos*. Centro Nacional de Prevención de Desastres/Instituto Nacional de Ecología, México.
- Hernández-Silva, D. A., Pulido-Silva, M. T., Zuria, I., Gallina-Tesaro, S. A., Sánchez-Rojas, G., 2018. El manejo como herramienta para la conservación y aprovechamiento de la fauna silvestre: acceso a la sustentabilidad en México. *Acta Universitaria*, 28: 31–41.
- Hoehl, S., Hellmer, K., Johansson, M., Gredebäck, G., 2017. Itsy bitsy spider...: Infants react with increased arousal to spiders and snakes. *Frontiers in Psychology*, 8: 1710, Doi: [10.3389/fpsyg.2017.01710](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01710)
- Holding, M. L., Frazier, J. A., Dorr, S. W., Henningsen, S. N., Moore, I. T., Taylor, E. N., 2014. Physiological and behavioural effects of repeated handling and short-distance translocations on free-ranging northern pacific rattlesnakes (*Crotalus oreganus oreganus*). *Journal of Herpetology*, 48: 233–239.
- Isbell, L. A., 2005. Snakes as agents of evolutionary change in primate brains. *Journal of Human Evolution*, 51: 1–35.
- 2009. *The fruit, the tree and the serpent*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, USA.
- Jenkins, M., Broad, S., 1994. *International trade in reptile skins: a review and analysis of the main consumer markets, 1983–91*. Traffic International/IUCN/WWF, Cambridge, USA.
- Julian, S. G. J., Woodward, D. K., 1985. What you wanted to know about all you ever heard concerning snake repellents. *Proceedings Eastern Wildlife Damage Control Conference*, 2: 243–248.
- Karanth, K. K., Gupta, S., Vanamamalai, A., 2018. Compensation payments, procedures and policies towards human-wildlife conflict management: Insights from India. *Biological Conservation*, 227: 383–389.
- Kawai, N., Koda, H., 2016. Japanese monkeys (*Macaca fuscata*) quickly detect snakes but not spiders: Evolutionary origins of fear-relevant animals. *Journal of Comparative Psychology*, 130: 299.
- Klauber, L. M., 1982. *Rattlesnakes. Their habits, life histories, and influence on mankind*. University of California Press. Berkeley, Los Angeles and London.
- Köhler, G., Cedeño-Vázquez, J. R., Beutelspacher-García, P. M., 2016a. The Chetumal snake census: generating biological data from road-killed snakes. Part 1. Introduction and identification key to the snakes of southern Quintana Roo, Mexico. *Mesoamerican Herpetology*, 3: 670–687.
- 2016b. The Chetumal snake census: generating biological data from road-killed snakes. Part 2. *Dipsas brevifacies*, *Sibon sanniulus* and *Tropidodipsas*

- sartorii*. *Mesoamerican Herpetology*, 3: 689–705.
- Kraus, F., Stahl, R., Pitt, W., 2015. Chemical repellents appear non-useful for eliciting exit of brown tree snakes from cargo. *International Journal of Pest Management*, 61: 144–152.
- King, R., Berg, C., Hay, B., 2004. A repatriation study of the eastern Massasauga (*Sistrurus catenatus catenatus*) in Wisconsin. *Herpetologica*, 60: 420–429.
- Kinsbury, B. A., Attum, O., 2009. Conservation strategies: Captive rearing, translocation and repatriation. In: *Snakes: Ecology and conservation*: 201–220 (S. J. Mullin, R. A. Seigel, Eds.). Cornell University Press, USA.
- Lazcano-Villarreal, D., Banda-Leal, J., Jacobo-Galván, R. D., 2010. *Serpientes del Estado de Nuevo León*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México.
- Lazcano-Villarreal, D., Esquivel-Arevalo, D. B., Heredia-Villarreal, A. I., García-Salas, J. A., Navarro-Velázquez, B., Nevárez-de los Reyes, M., 2017. Notes on Mexican Herpetofauna 31. Are roads in Nuevo León, Mexico, taking their toll on snake populations? (Part II). *Bulletin of Chicago Herpetological Society*, 52: 185–194.
- Lazcano-Villarreal, D., Salinas-Camarena, M. A., Contreras-Lozano, J. A., 2009. Notes on Mexican Herpetofauna 12. Are roads in Nuevo León, Mexico, taking their toll on snake populations. *Bulletin of Chicago Herpetological Society*, 44: 69–75.
- Llamosa-Neumann, E., 2005. *Serpientes venenosas de la Península de Yucatán*. BIOCLON, México.
- Lomonte, B., Rey-Suarez, P., Fernández, J., Sasa, M., Davinia, P., Vargas, N., Benard-Valle, M., Sanz, L., Corrêa-Netto, C., Núñez, V., Alape-Girón, A., Alagón, A., Gutiérrez, J. M., Calvete, J. J., 2016. Venoms of *Micrurus* coral snakes: Evolutionary trends in compositional patterns emerging from proteomic analyses. *Toxicon*, 122: 7–25.
- Luna-Bauza, E. M., Martínez-Ponce, G., Salazar-Hernández, A. C., 2004. Mordeduras por serpiente venenosa. Panorama epidemiológico de la zona de Córdoba, Veracruz. *Revista de la Facultad de Medicina UNAM*, 47: 149–153.
- Luna-Reyes, R., Suárez-Velázquez, A., 2008. *Reptiles venenosos de Chiapas: reconocimiento, primeros auxilios y tratamiento médico en caso de mordedura*. Instituto de Historia Natural, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Lynch, J. D., 2012. El contexto de las serpientes de Colombia con un análisis de las amenazas en contra de su conservación. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 36: 435–449.
- Lynch, J. D., Angarita-Sierra, T., 2016. *Programa nacional para la conservación de las serpientes presentes en Colombia*. Instituto de Ciencias Naturales; Francisco J. Ruíz-Instituto Nacional de Salud-Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia.
- MacGowan, B. J., Currylow, A. F. T., MacNeil, J. E., 2017. Short-term responses of Timber Rattlesnakes (*Crotalus horridus*) to even-aged timber harvest in Indiana. *Forest Ecology and Management*, 387: 30–36, Doi: [10.1016/j.foreco.2016.05.026](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.05.026)
- Macías-Rodríguez, E. F., Díaz-Cárdenas, C. O., Gatica-Colima, A. B., Plengue-Tellechea, L. F., 2014b. Variación estacional del contenido proteico y actividad de la PLA₂ del veneno de *Crotalus molossus molossus* entre especímenes de origen silvestre y en cautiverio. *Acta Universitaria*, 24: 38–47.
- Macías-Rodríguez, E. F., Martínez-Martínez, A., Gatica-Colima, A., Bojórquez-Rangel, G., Plengue-Tellechea, L., 2014a. Análisis comparativo de la actividad hemolítica entre las subespecies *Crotalus molossus* y *Crotalus molossus nigrescens*. *Revista Bio Ciencias*, 2: 302–312
- Mackessy, S. P., Leroy, J., Mociño-Deloya, E., Setser, K., Bryson, R. W., Saviola, A. J., 2018. Venom ontogeny in the Mexican Lance-Headed Rattlesnake (*Crotalus polystictus*). *Toxins*, 10, Doi: [10.3390/toxins10070271](https://doi.org/10.3390/toxins10070271)
- Martín del Campo, R., 1936. Los batracios y reptiles según los códices y relatos de los antiguos mexicanos. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional de México*, 7: 489–512.
- 1938. Ensayo de interpretación del libro undécimo de la historia de Sahagun. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional de México*, 9: 379–391.
- Martínez Hernández, N., 2011. Evaluación cuantitativa y cualitativa de la mortalidad de anfibios y reptiles por atropella-miento en la carretera costera Lázaro Cárdenas-Coahuayana en Michoacán. Tesis de licenciatura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México.
- Martínez-Romero, G., Rucavado, A., Lazcano, D., Gutiérrez, J. M., Borja-Jiménez, M., Lomonte, B., Garza-García, Y., Zagasti-Cruz, A., 2013. Comparison of venom composition and biological activities of the subspecies *Crotalus lepidus lepidus*, *Crotalus lepidus klauberi* and *Crotalus morulus* from Mexico. *Toxicon*, 71: 84–95.
- Masés-García, C. A., Briones-Salas, M., Sosa-Escalante, J. E., 2021. Assessment of wildlife crime in a high biodiversity region of Mexico. *Journal of Nature Conservation*, 59: 125932.
- Massei, G., Quy, R. J., Gurney, J., Cowan, D. P., 2010. Can translocations be used to mitigate human-wildlife conflicts? *Wildlife Research*, 37: 428–439.
- Meik, J. M., Streicher, J. W., Lawing, A. M., Flores-Villega, O., Fujita, M. K., 2015. Limitations of climatic data for inferring species boundaries: Insights from Speckled Rattlesnakes. *Plos One*, 10:e0131435, Doi: [10.1371/journal.pone.0131435](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131435)
- Mengak, T. M., 2004. Nuisance wildlife issues. In: *Georgia Master Gardener Handbook*: 1–28 [M. T. Fonseca, K. L. Slagle]. The University of Georgia. College of Agricultural and Environmental Sciences, Georgia, USA.
- Midtgaard, R., 2021. RepFocus – A survey of the reptiles of the world. E-book published by the author. Middelfart, Denmark, <http://repfocus.dk/Serpentes.html> [Consultado el 10 de marzo de 2021].
- Minteer, B. A., Collins, J. P., Love, K. E., Pushendorf, R., 2014. Avoiding (Re)extinction. *Science*, 344: 260–261.

- Miranda, E. B. P., Ribeiro Jr., R. P., Strüssmann, C., 2016. The ecology of human–anaconda conflict: a study using internet videos. *Tropical Conservation Science*, 9: 43–77.
- Morris, M. C., 2017. Rattlesnakes in the Classroom: A Research–based model for educational outreach programs. In: *The Biology of Rattlesnakes II*: 54–64 (M. J. Dreslik, W. K. Hayes, S. J. Baupre, S. P. Mackesy, Eds.). ECO Herpetological Publishing and Distribution, Rodeo, New Mexico, USA.
- Neri–Castro, E., Benard–Valle, M., Gil, G., Borja, M., López de León, J., Alagón, A., 2020a. Serpientes venenosas en México: Una revisión al estudio de los venenos, los antivenenos y la epidemiología. *Revista Latinoamericana de Herpetología*, 3: 5–22.
- Neri–Castro, E., Hernández–Dávila, A., Olvera–Rodríguez, A., Cardoso–Torres, H., Benard–Valle, M., Bastiaans, E., López–Gutiérrez, O., Alagón, A., 2019a. Detection and quantification of a β -neurotoxin (crotoxin homologs) in the venom of the rattlesnakes *Crotalus simus*, *C. culminatus* and *C. tzabcan* from Mexico. *Toxicon*: X, 2: 100007, Doi: [10.1016/j.toxcx.2019.100007](https://doi.org/10.1016/j.toxcx.2019.100007)
- Neri–Castro, E., Lomonte, B., Gutiérrez, M. C., Alagón, A., Gutiérrez, J. M., 2013. Intraspecies variation in the venom of the rattlesnake *Crotalus simus* from Mexico: Different expression of crotoxin results in highly variable toxicity in the venoms of three subspecies. *Journal of Proteomics*. 87: 103–121.
- Neri–Castro, E., Lomonte, B., Valdes, M., Ponce–López, R., Benard–Valle, M., Borja–Jiménez, M., Strickland, J. L., Jones, J. M., Grunwald, C., Zamudio, F., Alagón, A., 2019b. Venom characterization of the three species of *Ophryacus* and proteomic profiling of *O. sphenophrys* unveils Sphenotoxin, a novel Crotoxin–like heterodimeric β -neurotoxin. *Journal of Proteomics*, 192: 196–207.
- Neri–Castro, E., Sanz, L., Olvera–Rodríguez, A., Benard–Valle, M., Alagón, A., Calvete, J. J., 2020b. Venoms and biochemical analysis of the black-tailed horned pitviper, *Mixcoatlus melanurus*, and characterization of Melanurotoxin, a novel crotoxin homolog. *Journal of Proteomics*, 225: 103865.
- Nielsen, L., Brown, R. D., 1988. *Translocation of wild animals*. Wisconsin Humane Society and Cesar Kleberg Wildlife Research Institute, Kingsville, Texas, USA.
- Nowak, E. M., Riper III, V. C., 1999. *Effects and effectiveness of rattlesnake relocation at Montezuma Castle National Monument*. U. S. Geological Survey/FRESC Report Series USGS/FRESC/COPL/1999/17, USA.
- Nowak, E. M., Here, T., McNally, J. T., 2002. Management of "nuisance" effects of translocation on Western Diamond-backed Rattlesnakes (*Crotalus atrox*). In: *Biology of the Vipers*: 533–560 [G. W. Schuet]. Eagle Mountain Publishing, LC., Utah, USA.
- Nyhus, P. J., 2016. Human–Wildlife conflict and coexistence. *Annual Review of Environmental Resources*, 41: 143–171.
- Öhman, A., Mineka, S., 2003. The malicious serpent: Snakes as a prototypical stimulus for an evolved module of fear. *Current Directions in Psychological Science*, 12: 5–9.
- Ojeda–Morales, U. M., 2004. Las serpientes venenosas de Tabasco: Biología, mordeduras, prevención y tratamiento. *Kukulkab' Revista de Divulgación*, 9: 34–42.
- Olson, Z. H., MacGowan, B. J., Hamilton, M. T., Currylow, A. F. T., Williams, R. N., 2015. Survival of Timber Rattlesnakes (*Crotalus horridus*): Investigating individual, environmental and ecological effects. *Herpetologica*, 71: 274–279.
- OMS (Organización Mundial de la Salud), 2019. *Snakebite envenoming: A strategy for prevention and control*. Organización Mundial de la Salud.
- Pandey, D. P., Pandey, G. S., Devkota, K., Goode, M., 2016. Public perceptions of snakes and snakebite management: implications for conservation and human health in southern Nepal. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 12: 1–24.
- Paredes–García, D. M., Ramírez–Bautista, A., Martínez–Morales, M. A., 2011. Distribución y representatividad de las especies del género *Crotalus* en las áreas naturales protegidas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82: 689–700.
- Parkhursts, J., 2019. Managing human wildlife interactions: Snakes. *Virginia Cooperative Extension*, 420–421: 1–7.
- Paulino, C. G. H., 2018. La leyenda de la culebra de agua protectora del pueblo de San Bernardo (Oaxaca, México): sustrato mítico zapoteco y dispersión pluricultural. *Boletín de Literatura Oral*, 8: 165–176.
- Pitts, S. L., Hughes, B. D., Mali, I., 2017. Rattlesnake nuisance removals and urban expansion in Phoenix, Arizona. *Western North American Naturalist*, 77: 309–316.
- Ponce–López, R., Neri–Castro, E., Borja, M., Strickland, J. L., Alagón, A., 2020. Neutralizing potency and immunochemical evaluation of an anti–*Crotalus mictlantecutli* experimental serum. *Toxicon*, 187: 171–180.
- Pradhan, S., Mishra, D., Sahu, K. R., 2014. An inventory and assessment of snake diversity of Gadhamardan hills range of western Orissa, India. *International Journal of Pure and Applied Zoology*, 2: 241–245.
- Puc–Sánchez, J. I., Delgado–Trejo, C., Mendoza–Ramírez, E., Suazo–Ortuño, I., 2013. Las carreteras como una fuente de mortalidad de fauna silvestre de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. *Biodiversitas*, 111: 12–16.
- Reading, C. J., Luiselli, L. M., Akani, G. C., Bonnet, X., Amori, G., Ballouard, J. M., Filippi, E., Naulleau, G., Pearson, D., Rugiero, L., 2010. Are snake populations in widespread decline? *Biology letters*, 2010: 777–780.
- Reinert, H. K., 1993. Habitat selection in snakes. In: *Snakes Ecology and Behavior*, 2nd edition: 201–240 (R. A. Seigel, J. T. Collins, Eds.). The Blackburn Press, New Jersey, USA.
- Reinert, H. K., Rupert, R. R., 1999. Impacts of translocation on behavior and survival of timber rattlesnakes, *Crotalus horridus*. *Journal of Herpetology*, 33: 45–61.

- Reiserer, R. S., Schuett, G. W., Greene, H. W., 2018. Seed ingestion and germination in rattlesnakes: overlooked agents of rescue and secondary dispersal. *Proceedings of the Royal Society B*, 285: 20172755.
- Reyes-Velasco, J., Adams, R. H., Boissinot, S., Parkinson, C. L., Campbell, J. A., Castoe, T. A., Smith, E. N., 2020. Genome-wide SNPs clarify lineage diversity confused by coloration in coral-snakes of the *Micrurus diastema* species complex (Serpentes: Elapidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 147: 106770
- Rincón-Aranguri, M., Urbina-Cardona, N., Galeano, S. P., Bock, B. C., Páez, V. P., 2019. Road kill of snakes on a highway in an Orinoco ecosystem: Landscape factors and species traits related to their mortality. *Tropical Conservation Science*, 12: 1940082919830832.
- Rivas-Mercado, E., Neri-Castro, E., Benard-Valle, M., Hernández-Dávila, A. I., Zamudio-Zuniga, F., Alagón, A., 2017. General characteristics of the venoms from two species of rattlesnakes and an intergrade population (*C. lepidus* x *C. aquilus*) from Aguascalientes and Zacatecas, Mexico. *Toxicon*, 138: 191–195.
- Rivas-Mercado, E., Neri-Castro, E., Benard-Valle, M., Rucavado-Romero, A., Olvera-Rodríguez, A., Zamudio-Zúñiga, F., Alagón, A., Garza-Ocanas, L., 2020. Disintegrins extracted from totonacan rattlesnake (*Crotalus totonacus*) venom and their anti-adhesive and anti-migration effects on MDA-MB-231 dn HMEC-1 cells. *Toxicol in Vitro*, 65: 104809.
- Román-Domínguez, L., Neri-Castro, E., Vázquez-López, H., García-Osorio, B., Archundia, I. G., Ortiz-Medina, J. A., Petricevich, V. L., Alagón, A., Benard-Valle, M., 2019. Biochemical and immunochemical characterization of venoms from snakes of the genus *Agkistrodon*. *Toxicon X*, 4:100013.
- Rosen, P. C., Lowe, C. H., 1994. Highway mortality of snakes in the Sonoran Desert of southern Arizona. *Biological Conservation*, 68: 143–148.
- Rust, S. A., Soles, C., 2014. Ecohorror special cluster: "Living in fear, living in dread, pretty soon we'll all be dead". *Interdisciplinary Studies in Literature and Environment*, 21(3): 509–512, Doi: [10.1093/isle/isu085](https://doi.org/10.1093/isle/isu085)
- Saint-Andrieux, C., Calenge, C., Bonenfant, C., 2020. Comparison of environmental, biological and anthropogenic causes of wildlife-vehicle collisions among three large herbivore species. *Population Ecology*, 62: 64–79.
- San Julian, G. J. S., Woodward, D. K., 1985. What you wanted to know about all you ever heard concerning snake repellents. *Proceedings Eastern Wildlife Damage Control Conferences*, 2: 243–246.
- Sánchez, E. D., Migl, C., Suntravat, M., Rodríguez-Acosta, A., Galan, J. A., Salazar, E., 2019. The neutralization efficacy of expired polyvalent antivenoms: An alternative option. *Toxicon*, 168: 32–39.
- Sánchez, M., Solano, G., Vargas, M., Reta-Mares, F., Neri-Castro, E., Alagón, A., Sánchez, A., Villalta, M., León G., 2020. Toxicological profile of medically relevant *Crotalus* species from Mexico and their neutralization by *Crotalus basiliscus/Bothrops asper* antivenom. *Toxicon*, 179: 92–100.
- Savethesnakes., 2020a. Snake education leads positive results for indigenous community in Mexico, <https://savethesnakes.org/2020/04/18/snake-education-leads-to-positive-results-for-indigenous-community-in-mexico> [Consultado el 10 de marzo de 2021].
- Savethesnakes., 2020b. Art and science education program for the conservation of snake and reduction of the human-snake conflict in Catemaco, Mexico, <https://savethesnakes.org/conservation/catemaco-veracruz-mexico> [Consultado el 10 de marzo de 2021].
- Saviola, A. J., Gandara, A. J., Bryson, R. W., Mackessy, S. P., 2017. Venom phenotypes of the Rock Rattlesnake (*Crotalus Lepidus*) and the Ridge-nosed Rattlesnake (*Crotalus willardi*) from México and the United States. *Toxicon*, 138: 119–129.
- Schlaepfer, M. A., Hoover, C., Dodd, K. Jr., 2005. Challenges in evaluating the impact of the trade in amphibians and reptiles on wild populations. *BioScience*, 55: 256–264.
- Sealy, J. B., 1997. Short-distance translocations of timber rattlesnakes in a North Carolina state park: A successful conservation and management program. *Sonoran Herpetologist*, 10: 94–99.
- Segura, A., Herrera, M., Reta Mares, F., Jaime, C., Sánchez, A., Vargas, M., Villalta, M., Gómez, A., Gutiérrez, J. M., León, G., 2017. Proteomic, toxicological and immunogenic characterization of Mexican west-coast rattlesnake (*Crotalus basiliscus*) venom and its immunological relatedness with the venom of Central American rattlesnake (*Crotalus simus*). *Journal of Proteomics*, 158: 62–72.
- Segura, A., Herrera, M., Vargas, M., Villata, M., Uscanga-Reynell, A., León, G., Gutiérrez, J. M., 2015. Preclinical efficacy against toxic activities of medically relevant *Bothrops* sp. (Serpentes: Viperidae) snake venoms by a polyspecific antivenom produced in Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 65: 345–350
- Segura, A., Herrera, M., Villalta, M., Vargas, M., Uscanga-Reynell, A., Ponce de León-Rosales, S., Jiménez-Corona, M. E., Reta-Mares, J. F., Gutiérrez, J. M., León, G., 2012. Venom of *Bothrops asper* from Mexico and Costa Rica: Intraspecific variation and cross-neutralization by antivenoms. *Toxicon*, 59: 158–162.
- SEMARNAT, 2018. *Programa de Acción para la Conservación de Especies: Serpientes de Cascabel (Crotalus spp.)*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales/ Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México.
- Shine, R., Koenig, J., 2001. Snakes in the garden: an analysis of reptiles "rescued" by community-based wildlife carers. *Biological Conservation*, 102: 271–283.
- Sigala-Rodríguez, J. J., Vázquez-Díaz, J., 1996. *Serpientes venenosas de Aguascalientes*. Cuadernos de Trabajo 56. Gobierno del Estado de Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- Siria-Hernández, C. G., Arellano-Bravo, A., 2009.

- Mordeduras por serpiente venenosa: panorama epidemiológico en México. *Salud Pública de México*, 51: 95–96.
- Soares, S. C., Lindström, B., Esteves, F., Öhman, A., 2014. The hidden snake in the grass: Superior detection of snakes in challenging attentional conditions. *Plos One*, 9(12): e114724, Doi: [10.1371/journal.pone.0114724](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114724)
- Sosa–Escalante, J. E., 2011. Aplicación de la ley para el combate del tráfico ilegal de vida silvestre en México: el caso de Charco Cercado. *Therya*, 2: 245–262.
- Suárez–Velázquez, A., Luna–Reyes, R., 2009. *Mordeduras por serpientes en Chiapas*. Instituto de Salud Pública del Estado de Chiapas/Régimen Estatal de Protección Social en Salud en Chiapas. Gobierno de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Sullivan, B. K., Nowak, E. M., Kwiatowski, M. A., 2014. Problems with mitigation translocation of herpetofauna. *Conservation Biology*, 29: 12–18.
- Tay–Zavala, J., Díaz–Sánchez, J. G., Sánchez–Vega, J. T., Ruíz–Sánchez, D., Castillo, L., 2002. Serpientes y reptiles de importancia médica en México. *Revista de la Facultad de Medicina UNAM*, 145: 212–219.
- Tierney, K. J., Connolly, M. K., 2013. A review of the evidence for a biological basis for snake fears in humans. *The Psychological Record*, 63: 919–928.
- Vázquez–Díaz, J., Quintero–Díaz, G. E., 2005. *Anfibios y reptiles de Aguascalientes*. Centro de Investigaciones y Estudios en Medio Ambiente, Aguascalientes, México.
- Waheed, H., Moin, S. F., Choudhary, M. I., 2017. Snake venom: From deadly toxins to life–saving therapeutics. *Current Medicinal Chemistry*, 24: 1874–1891.
- Wasko, D. K., Bullard, S. G., 2016. An analysis of media–reported venomous snakebites in the United States, 2011–2013. *Wilderness and Environmental medicine*, 27: 219–226.
- Whitaker, P. B., Shine, R., 2000. Sources of mortality of large elapid snakes in an agricultural landscape. *Journal of Herpetology*, 34: 121–128.
- Williams, D. J., Faiz, M. A., Abela–Ridder, B., Ainsworth, S., Bulfone, T. C., Nickerson, A. D., Habib, A. G., Junghanss, T., Fan, H. W., Turner, M., Harrison, R. A., Warrell, D. A., 2019. Strategy for a globally coordinated response to a priority neglected tropical disease: Snakebite envenoming. *Plos Neglected Tropical Diseases*, 13, Doi: [10.1371/journal.pntd.0007059](https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007059)
- Yañez–Arenas, C., 2014. Análisis temporal y geográfico del envenenamiento por mordedura de serpiente en Veracruz, México (2003–2012). *Gaceta Médica de México*, 1: 60–4.
- Yañez–Arenas, C., Townsend–Peterson, A. T., Morkondoko, P., Rojas–Soto, O., Martínez–Meyer, E., 2014. The use of ecological niche modelling to infer potential risk areas of snakebite in the Mexican state of Veracruz. *Plos One*, 9: e100957, Doi: [10.1371/journal.pone.0100957](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100957)
- Yañez–Arenas, C., Yañez–Arenas, A., Martínez–Ortiz, D., 2016. Epidemiological panorama of venomous snake bites in the state of Yucatan, Mexico (2003–2012). *Gaceta Médica de México*, 152: 511–516.
- Yuan, F. L., Bullullaya, U. P., Roshnath, R., Bonebrake, T. C., Sinu, P. A., 2020. Sacred groves and serpent–gods moderate human–snake relations. *People and Nature*, 2020:111–122.
- Zaher, H., Murphy, R. W., Arredondo, J. C., Graboski, R., Machado–Filho, P. R., Mahlow, K., Montingelli, G. G., Bottallo–Quadros, A., Orlov, N. L., Wilkinson, M., Zhang, Y., Graziotin, F. G., 2019. Large–scale molecular phylogeny, morphology, divergence–time estimation, and the fossil record of advanced caenophidian snakes (Squamata: Serpentes). *Plos One*, 14: e0216148, Doi: [10.1371/journal.pone.0216148](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216148)
- Zaragoza–Bastida, A., Flores–Aguilar, S. C., Aguilar–Castro, L. M., Morales–Ubaldo, A. L., Valladares–Carranza, B., Rangel–López, L., Olmedo–Juárez, A., Rosenfeld–Miranda, C. E., Rivero–Pérez, N., 2020. Antibacterial and hemolytic activity of *Crotalus triseriatus* and *Crotalus ravus* venom. *Animals*, 10: 281.
- Zhou, Z., Jiang, Z., 2004. International trade status and crisis for snake species in China. *Conservation Biology*, 18: 1386–1394.
- Zipkin, E. F., DiRenzo, G. V., Ray, J. M., Rossman, R., Lips, K. R. 2020. Tropical snake diversity collapses after widespread amphibian loss. *Science*, 367: 1–3.
- Zúñiga–Carrasco, I. R., Caro–Lozano, J., 2013. Aspectos clínicos y epidemiológicos de la mordedura de serpientes en México. *Evidencia Médica e Investigaciones en Salud*, 6: 125–136.

Anexo 1. Especies de serpientes venenosas mexicanas cuyo veneno ha sido objeto de estudio. Fuente: 1, De Roodt *et al.* (2004); 2, Segura *et al.* (2012); 3, Martínez-Romero *et al.* (2013); 4, Neri-Castro *et al.* (2013); 5, Benard-Valle *et al.* (2014); 6, Carbajal-Saucedo *et al.* (2013); 7, Macías-Rodríguez *et al.* (2014a, 2014b); 8, Lomonte *et al.* (2016); 9, Durban *et al.* (2017); 10, Rivas-Mercado *et al.* (2017); 11, Saviola *et al.* (2017); 12, Segura *et al.* (2017); 13, Arnaud-Franco *et al.* (2018); 14, Borja *et al.* (2018a); 15, Borja *et al.* (2018b); 16, Guerrero-Garzón *et al.* (2018); 17, Mackessy *et al.* (2018); 18, Grabowsky y Mackessy (2019); 19, Román-Domínguez *et al.* (2019); 20, Neri-Castro *et al.* (2019a); 21, Neri-Castro *et al.* (2019b); 22, Benard-Valle *et al.* (2020); 23, Neri-Castro *et al.* (2020b); 24, Rivas-Mercado *et al.* (2020); 25, Zaragoza-Bastida *et al.* (2020); 26, Dashevsky *et al.* (2020); 27, Braga *et al.* (2020); 28, García-Osorio *et al.* (2020); 29, Ponce-López *et al.* (2021); 30, Archundia *et al.* (2021).

Annex 1. Species of poisonous snakes in Mexico for which studies have been published regarding their poison. (For abbreviations of sources see above).

Familia		Familia	
Especie	Fuente	Especie	Fuente
Familia Elapidae		<i>Crotalus lepidus</i>	3, 10, 11
<i>Micrurus browni</i>	16, 22, 26, 27, 30	<i>Crotalus mictlantecuhtli</i>	20, 29
<i>Micrurus elegans</i>	8	<i>Crotalus molossus</i>	7, 14
<i>Micrurus diastema</i>	8, 16, 26, 30	<i>Crotalus mitchelli</i>	13
<i>Micrurus distans</i>	8, 26, 30	<i>Crotalus polystictus</i>	17
<i>Micrurus laticollaris</i>	1, 6, 8, 16, 26, 27, 30	<i>Crotalus pricei</i>	18
<i>Micrurus nigrocinctus</i>	1	<i>Crotalus ravus</i>	25
<i>Micrurus tener</i>	5, 16, 26	<i>Crotalus ruber</i>	13
Familia Viperidae		<i>Crotalus scutulatus</i>	15
<i>Agkistrodon bilineatus</i>	1, 19	<i>Crotalus simus</i>	4, 9, 20
<i>Agkistrodon russeolus</i>	19	<i>Crotalus totonacus</i>	24
<i>Agkistrodon taylori</i>	19	<i>Crotalus triseriatus</i>	25
<i>Bothrops asper</i>	1, 2	<i>Crotalus tzabcan</i>	9, 20
<i>Crotalus aquilus</i>	10	<i>Crotalus willardi</i>	11
<i>Crotalus atrox</i>	1	<i>Mettlapilcoatlus nummifer</i>	1, 11, 28
<i>Crotalus basiliscus</i>	1, 12	<i>Mixcoatlus melanurus</i>	23
<i>Crotalus catalinensis</i>	13	<i>Ophryacus smaragdinus</i>	21
<i>Crotalus culminatus</i>	4, 9	<i>Ophryacus sphenophrys</i>	21
<i>Crotalus ehecatl</i>	20	<i>Ophryacus undulatus</i>	21

Anexo 2. Asociaciones independientes en México dedicadas al estudio, la protección y la conservación de los anfibios y reptiles.

Annex 2. Independent associations in Mexico dedicated to the study, protection and conservation of amphibians and reptiles.

Nombre	Ubicación
Red para la Conservación y Divulgación de los Reptiles Venenosos de Chiapas	Chiapas
Red de Ayuda para el Accedente Ofídico–UNAM	Ciudad de México
Vida Silvestre Coatl AC	Ciudad de México
Herpetológica LAB	Ciudad de México
Hook it	Ciudad de México
Fundación Haghenbeck	Ciudad de México
Usea	Ciudad de México
Red de Divulgación de Anfibios y Reptiles MX	Estado de México
Coatlan ICVS	Estado de México
Herpetario de la Sierra Gorda	Guanajuato
X–Plora Reptilia	Hidalgo
HerpMex	Jalisco
Red de anfibios y reptiles de Michoacán	Michoacán
Sociedad Herpetológica del Noroeste A.C.	Nuevo León
Anfibios y reptiles de Querétaro	Querétaro
Anfibios y reptiles de San Luís de Potosí	San Luís de Potosí
Red de divulgación de herpetofauna y expediciones Sinaloa	Sinaloa
Club de herpetología UNISON	Sonora
Grupo de anfibios y reptiles del sureste mexicano	Tabasco
Instituto Lorancai	Veracruz
Vida Verde y Conservación	Veracruz
Ekuneil	Yucatán
Red para la conservación de los anfibios y reptiles de Yucatán	Yucatán
Grupo para el conocimiento y la protección de los anfibios y reptiles Yumil Kaan	Yucatán

Anexo 3. Herpetarios que contribuyen a la conservación de las especies de serpientes mexicanas: E, exhibición; Dea, difusión y educación ambiental; I, investigación; As, aprovechamiento sostenible; Afe, apoyo a la formación académica; R, reproducción.

Annex 3. Herpetariums that contribute to the conservation of snake species in Mexico: E, exhibition; Dea, diffusion and environmental education; I, research; As, sustainable use; Afe, support for academic training; R, reproduction.

Nombre	Ubicación	E	Dea	I	As	Afe	R
Colección Zoológica de la Universidad de Aguascalientes	Aguascalientes		X	X		X	
Serpentario de la Paz	Baja California	X	X	X	X	X	X
Herpetario de Zoomat	Chiapas	X	X	X	X	X	X
Herpetario de la Facultad de Ciencias de la UNAM	Ciudad de México	X	x	X		X	X
Herpetario del Zoológico de Aragón	Ciudad de México	X	X	X	X	X	X
UMA Deval Animal	Ciudad de México	X	X	X	X	X	X
BioMuseo Reptiles SC	Ciudad de México	X	X	X	X	X	X
Herpetario La Granja	Ciudad de México	X	X	X	X	X	X
Herpetario del Museo del Desierto	Coahuila	X	X		X	X	X
Herpetario Zoológico de Colima	Colima	X	X				
Centro Regional de Educación para la Conservación	Durango	X	X	X		X	
Vivario de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM	Estado de México	X	X	X		X	X
Animal City de México	Estado de México		X		X	X	X
Herpetario Draconis	Estado de México	X	X	X	X	X	X
Teutle Museo de Serpientes	Estado de México	X	X	X	X	X	X
Herpetario de la Siera Gorda	Guanajuato	X	X	X		X	
X–Plora Reptilia	Hidalgo	X	X	X	X	X	X
Herpetario del Zoológico de Guadalajara	Jalisco	X	X		X	X	X
Herpetario del Zoológico de Morelia	Michoacán	X	X	X	X	X	X
Herpetario del INIRENA, UMSNH	Michoacán	X	X	X		X	
Herpetario Cantil–Instituto de Biotecnología, UNAM	Morelos	X	X	X		X	
Barranca Honda	Morelos	X	X	X	X		X
Herpetario de la Selva Morelos	Morelos	X	X	X	X		X
Herpetario de la UANL	Nueva León			X		X	X
Herpetario de la BUAP	Puebla			X		X	
Museo Viviente	Puebla	X	X	X	X	X	X
Herpetario del Africam Zafari	Puebla	X	X	X	X	X	X
Herpetario de la UAQ	Querétaro	X	X	X	X	X	
Herpetario CrocoCun	Quintana Roo	X	X	X	X		
Herpetario del Centro Ecológico de Sonora	Sonora	X	X			X	X
Herpetario del Parque Museo La Venta	Tabasco	X	X	X	X	X	X
Herpetario del Centro Ecoturístico de El Cielo	Tamaulipas	X	X		X		
Herpetario Kukulcán	Tlaxcala	X	X	X	X	X	X
Herpetario Coatlique	Veracruz	X	X		X	X	
Herpetario Palancoatl	Veracruz		X	X	X	X	X
Vida Verde y Conservación	Verecruz	X	X	X	X	X	X
UMA Tsáb Kaan	Yucatán	X	X	X	X	X	X
UMA Parque Bicentenario Animaya	Yucatán	X	X	X	X	X	X

Capítulo II.

La translocación como medida de mitigación del conflicto humano-serpiente en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán.

Introducción

La translocación consiste en el movimiento mediado por el ser humano de organismos vivientes de un área para ser liberados en otra, ya sea accidental (especies polizontes) o intencionada; las translocaciones intencionadas pueden responder a diferentes motivos, por ejemplo, reducción del número poblacional, por intereses de bienestar, político, comercial o recreacional, o con objetivos de conservación (IUCN/SSC, 2013).

La translocación con fines de conservación consiste en el movimiento y liberación de un organismo vivo cuando el objetivo primordial es beneficiar su conservación, ya sea dentro o fuera de su área de distribución nativa; y usualmente implicará la mejora del estatus de conservación de la especie focal a nivel local o global, y/o la restauración de los procesos o funciones naturales de los ecosistemas (IUCN/SSC, 2013).

La translocación ha sido empleada además como una medida para mitigar el conflicto humano-serpiente (Craven et al., 1998; Messei et al., 2010), por lo que los ejemplares considerados nocivos son translocados a áreas donde no estén en conflicto con los humanos (Sullivan et al., 2014). A partir de este enfoque, se han realizado varias investigaciones específicas con serpientes, y las translocaciones se han dividido en dos tipos, de acuerdo con la distancia a la que los animales son liberados: translocaciones a corta distancia (TCD: dentro del ámbito hogareño de la especie) y translocaciones a larga distancia (TLD: fuera del ámbito hogareño de la especie; Hardy et al., 2001).

Ambos tipos de translocación utilizadas como medida para la mitigación del conflicto, han presentado diversas consecuencias negativas, que van desde el regreso de los animales translocados hacia las zonas de recolecta, como en el caso de las TCD (Brown et al., 2009, Corbit, 2015), la poca fidelidad a los sitios de liberación y el incremento en las áreas de actividad, patrones de movimiento y por consiguiente, aumento en las tasas de mortalidad, lo cual se ha observado principalmente en las TLD (Reinert y Ruppert, 1999; Nowak et al., 2002; Devan-Song, 2014; Sullivan et al., 2014).

Entre las principales causas de mortalidad detectadas en las serpientes translocadas a larga distancia, al menos en serpientes de cascabel de Norteamérica, se encuentra la mortalidad asociada al periodo invernal (King et al., 2004; Harvey et al., 2014), debido a

Capítulo II

que las serpientes translocadas no logran encontrar hibernáculos adecuados y son menos capaces de sobrevivir al invierno (Nowak y Ripper, 1999).

Aunque en climas más cálidos, la necesidad de las serpientes de utilizar un hibernáculo para escapar de las condiciones de congelamiento es reducida (Dugan et al., 2008), además de que la incapacidad de encontrar un hibernáculo ideal, podría tener un efecto menor en la supervivencia, tal como ocurre en las poblaciones de *Crotalus ruber* del sur de California (Corbit, 2015). Dónde observó, que no existen diferencias en la supervivencia de serpientes translocadas y no translocadas y por lo tanto considera a las TLD como una opción viable de mitigación del conflicto humano serpiente.

Considerando lo anterior, en las condiciones climáticas de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (RBBM), se esperaría que el riesgo de mortalidad asociado al periodo invernal para los individuos translocados de *Crotalus atrox* sea muy bajo o nulo, y por consiguiente, que la TLD resulte una estrategia adecuada para el manejo del conflicto humano serpiente y la conservación de las serpientes de cascabel de la RBBM. Por lo tanto, en el presente capítulo, se evaluará el efecto de la TLD en ejemplares de *C. atrox* dentro de la RBBM.

Objetivos

Objetivo general

Analizar el efecto de la translocación a larga distancia (TLD) en ejemplares adultos de la especie *Crotalus atrox* dentro de la RBBM, a partir del estudio de su ecología espacial y el uso del microhábitat, para validarla o rechazarla como medida de mitigación del conflicto humano-serpiente.

Objetivos particulares

- Comparar el ámbito hogareño y uso de microhábitat de ejemplares residentes y translocados en la RBBM (Artículo: Home range and microhábitat use of resident and translocated individuals of the snake *Crotalus atrox* in the Biosphere Reserve Barranca de Metztitlán, Hidalgo, Mexico).
- Comparar los patrones de movimiento y actividad de ejemplares residentes y translocados en la RBBM (Artículo: Patrones de movimiento y actividad en ejemplares residentes y translocados de la serpiente de cascabel *Crotalus atrox* en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo).

Materiales y métodos generales

Descripción del área de estudio

El área de estudio se localiza dentro en la zona centro-sur de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, en el paraje conocido como Acalmanto, ubicado 1 km al oeste de la localidad de Acalome, en el municipio de Metztitlán, Hidalgo (Fig. 1). El sitio presenta una altitud que varía entre los 1500 y los 1800 msnm y la vegetación se compone de matorral crasicaule, el cual se define por la presencia de la cactácea candelabriforme *Isolatocereus dumortieri*, la cual alcanza una altura de entre cinco y siete metros.

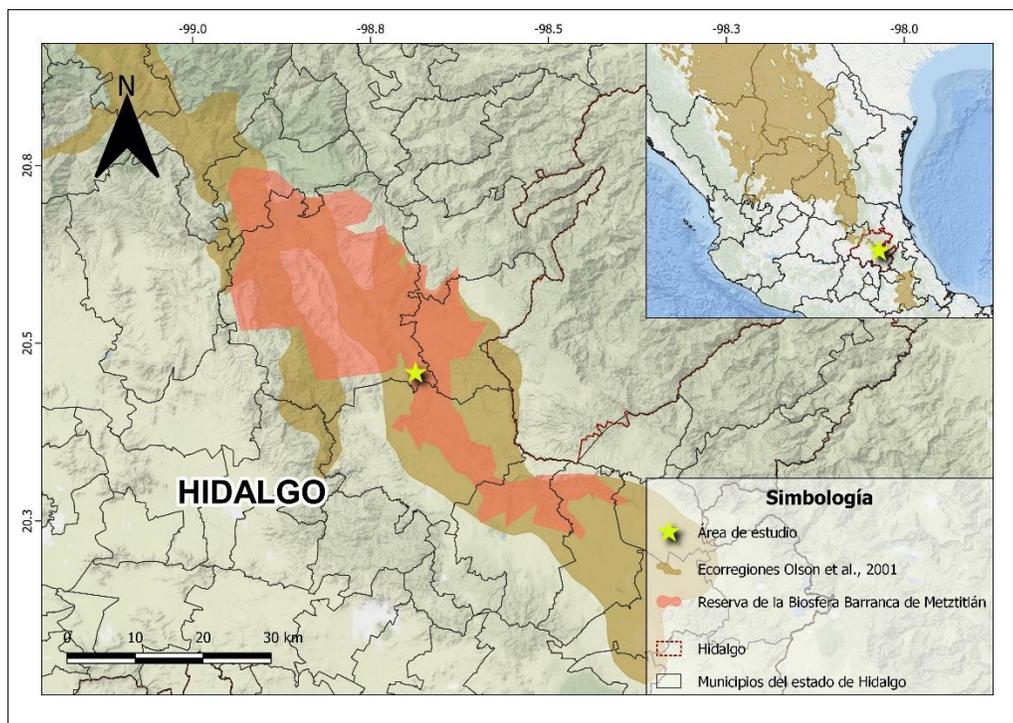


Figura 1. Mapa de la ubicación del área de estudio dentro de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán.

Los asentamientos humanos más cercanos son Acalome (1 km al este) y Santa Mónica (2.7 km al oeste) y debido a ello, la zona es utilizada para el pastoreo de ganado vacuno y los pobladores acuden a este sitio en distintas temporadas del año, para la recolección de frutos de cactáceas, chiles, flores de cactáceas y de yucas.

El clima en la zona de estudio es semiseco templado con lluvias en verano (CONANP, 2003), con una temperatura media anual de entre 18 y 22 °C en las partes más cálidas, una

precipitación media anual de entre 427.4 y 564.5 mm, con la precipitación máxima en septiembre de 192.4 mm y una mínima en marzo de 1.3 mm (CONANP, 2003).

Descripción de la especie de estudio

La serpiente de cascabel diamantada (*Crotalus atrox*) es la serpiente de cascabel más grande de México y puede llegar a medir hasta 2.23 metros (Klauber, 1956; Boundy, 1995; Heimes, 2016; Lemos-Espinal y Dixon, 2016; Fig. 2). Se distribuye en gran parte del suroeste de los Estados Unidos de América, así como en el norte y centro de México, llegando hasta Hidalgo; además se conoce una población aislada en el centro-sur de Veracruz y una población aparentemente relictual en el Istmo de Tehuantepec, sin embargo, de esta última no se tienen registros desde 1940 (Heimes, 2016; Fig. 3a). En el estado de Hidalgo esta especie se distribuye en la zona centro y noroeste, en los municipios de Atotonilco el grande, El Cardonal, Eloxochitlán, Ixmiquilpan, Jacala de Ledezma, Metztlán, San Agustín Metzquitlán, Tasquillo y Tecozautla (Fig. 3b y c).



Figura 2. Fotografía de ejemplar adulto de *Crotalus atrox* (foto: Leonardo Fernández Badillo).

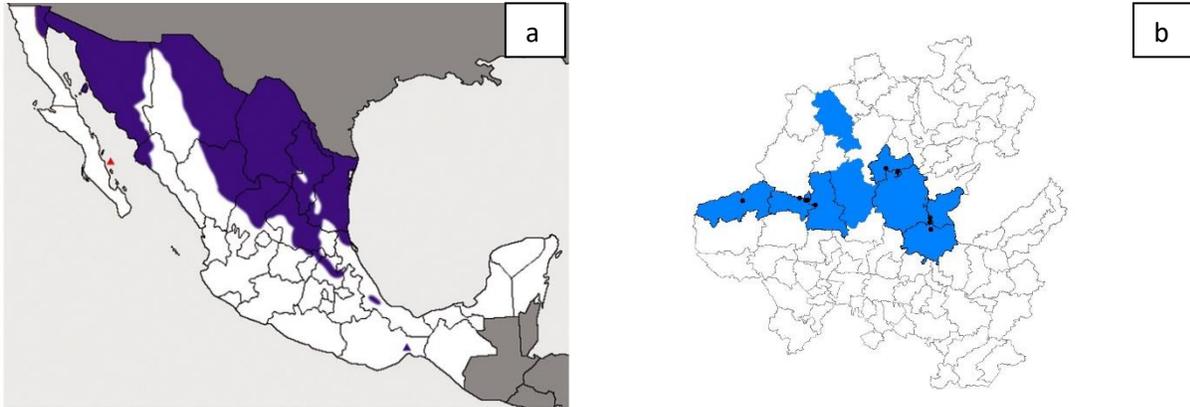


Figura 3. a) Mapa de distribución de *Crotalus atrox*, modificado de Heimes (2016). b) Municipios en el estado de Hidalgo donde se distribuye la especie, modificado de Fernández-Badillo et al. (2017).

Esta serpiente habita en un intervalo altitudinal que va de los 0 a los 2440 m, y debido a su amplia distribución, se encuentra en una gran variedad de hábitats como planicies costeras, pastizal desértico, matorral xerófilo, matorral espinoso, bosque tropical deciduo y bosques de pino-encino (Heimes, 2016).

En las poblaciones del norte, esta serpiente bruma durante el invierno y pueden llegar a agruparse en números grandes en hibernáculos dentro de cuevas en las rocas o en madrigueras de mamíferos, sin embargo, al sur en México se mantiene activa todo el año y disminuye un poco su actividad durante los meses con condiciones climáticas más desfavorables (Heimes, 2016; Lemos-Espinal y Dixon, 2016).

Los organismos de esta especie alcanzan la madurez sexual a los tres años de edad, cuando miden aproximadamente 900 mm (Tinkle, 1962). Su tipo de paridad es vivípara y bimodal (Tinkle, 1962; Lemos-Espinal y Dixon, 2016), por lo que puede reproducirse en dos épocas al año, una durante el otoño (agosto-octubre) o bien en la primavera (marzo-mayo), y el nacimiento de las crías se presenta entre junio y septiembre (Taylor y DeNardo, 2005; Clark et al. 2014; Heimes, 2016). En general la mayoría de las hembras se reproduce una vez al año, pero se han registrado ciclos bianuales en algunas áreas (Heimes, 2016). El tamaño de la camada varía de acuerdo con el tamaño de la hembra, de tal forma que pueden parir entre 4 y 25 crías (Campbell y Lamar, 2004; Heimes, 2016; Lemos-Espinal y

Capítulo II

Dixon, 2016) y el tamaño de las crías al nacer va de los 22.9 a los 33 mm de longitud total (Lemos-Espinal y Dixon, 2016).

En cuanto a su dieta, *Crotalus atrox* puede consumir una gran variedad de presas, siendo los pequeños mamíferos el componente principal de su dieta, aunque ocasionalmente puede llegar a consumir lagartijas o aves (Beavers, 1976). Algunos autores han encontrado que las ratas del género *Neotoma* constituyen el componente más relevante en su dieta considerando el porcentaje de peso (Beavers, 1976). Por otro lado, Loughran et al. (2013) sugieren que esta especie quizás seleccione presas de acuerdo con el tamaño para beneficiar la toma energética máxima por cada evento de alimentación, de tal forma que pueden llegar a consumir ocasionalmente presas muy grandes como lagomorfos, para alcanzar sus requerimientos energéticos.

Literatura citada

- Beavers, R. A. 1976. Food habits of the Western Diamond-Backed Rattlesnake, *Crotalus atrox*, in Texas (Viperidae). *The Southwestern Naturalist* 20: 503-515.
- Bounty, J. 1995. Maximum lengths of North American snakes. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society* 30:109-122.
- Brown, J. R., C. A. Bishop y R. J. Brooks. 2009. Effectiveness of short-distance translocations and its effects on western Rattlesnakes. *Journal of Wildlife Management* 73: 419-425.
- Campbell, J. A. y W. W. Lamar. 2004. *The venomous reptiles of the western hemisphere, Vol. II.* Comstock/ Cornell University Press, Ithaca, New York. 870 p.
- Clark, R. W., G. W. Scutt, R. A. Repp, M. Amarello, C. F. Smith y H. W. Hermann. 2014. Mating systems, reproductive success and sexual selection in secretive species: A case study of the Western Diamond-Backed Rattlesnake, *Crotalus atrox*. *PlosOne* 9: 1-12.
- CONANP. Comisión Nacional de áreas Naturales Protegidas. 2003. Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, México. Comisión Nacional de áreas Naturales Protegidas. 209 p.
- Corbit, A. G. 2015. The dynamics of human and rattlesnake conflict in Southern California. Loma Linda Electronic Theses, Dissertations and Projects. 195 p.
- Craven, S., T. Barnes y G. Kania. 1998. Toward a professional position on the translocation of problem wildlife. *Wildlife Society Bulletin* 26: 171-177.
- Devan-Song, E. A. 2014. Ecology and conservation of the Bamboo Pitviper: Natural history, demography and effects of translocation. Master of Sciences Thesis. University of Rhode Island. 113 p.
- Dugan, E. A., A. Figueroa y W. K. Hayes. 2008. Home range size, movements and mating phenology of sympatric Red Diamond (*Crotalus ruber*) and Southern Pacific (*C. oreganus helleri*) rattlesnakes in southern California. En: W. K. Hayes, K. R. Beaman, M. D. Cardwell y S. P. Bush (Eds.). *The Biology of Rattlesnakes*. Loma Linda University Press, Loma Linda, California. Pp. 353-364.

Capítulo II

Fernández-Badillo, L., N. Morales-Capellán, C. R. Olvera-Olvera, G. Montiel-Canales e I. Goyenechea. 2017. Guía de las serpientes del estado de Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 272 p.

Hardy, D. L., H. W. Greene, B. Tomberlin y M. Webster. 2001. Relocation of nuisance Rattlesnakes: problems using short-distance translocation in a small rural community. *Sonoran Herpetologist* 14: 1-3.

Harvey, D. S., A. M. Lentini, K. Cedar y P. J. Weatherhead. 2014. Moving Massasaugas: Insight into Rattlesnake relocation using *Sistrurus c. catenatus*. *Herpetological Conservation Biology* 9: 67-75.

Heimes, P. 2016. Herpetofauna Mexicana Vol. Snakes of Mexico. Edition Chimaira, Frankfurt am Main. 572 p.

IUCN/SSC. 2013. Directrices para reintroducciones y otras translocaciones para fines de conservación. Versión 1.0. Gland, Suiza: IUCN Species Survival Commission, viiii + 57 pp.

King, R., C. Berg y B. Hay. 2004. A repatriation study of the eastern Massagua (*Sistrurus catenatus catenatus*) in Wisconsin. *Herpetologica* 60: 420-429.

Klauber, L. 1956. Rattlesnakes. Their habits, life histories, and influence on mankind. Vol. 1. Berkeley, University California Press.

Lemos-Espinal, J. A., y J. R. Dixon. 2016. Anfibios y reptiles de Hidalgo, México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, 763 p.

Loughran, C. L., E. M. Nowak, J. Schofer, K. O. Sullivan y B. K. Sullivan. 2013. Lagomorphs as prey of Western Diamond-Backed Rattlesnakes (*Crotalus atrox*) in Arizona. *The Southwestern Naturalist*. 58: 502-505.

Massei, G., R. J. Quay, J. Gurney y D. P. Cowan. 2010. Can translocations be used to mitigate human-wildlife conflicts? *Wildlife Research* 37: 428-439.

Nowak, E. M., T. Here y J. T. McNally. 2002. Management of "nuisance" effects of translocation on Western Diamond-backed Rattlesnakes (*Crotalus atrox*). En. G. W. Schuet et al. (Eds.). *Biology of the Vipers*. Eagle Mountain Publishing, LC. Pp. 533-560.

Capítulo II

Nowak, E. M., y V. C. Riper III. 1999. Effects and effectiveness of rattlesnake relocation at Montezuma Castle National Monument. U. S. Geological Survey/FRESC Report Series USGS/FRESC/COPL/1999/17.

Reinert, H. K., y R. R. Rupert. 1999. Impacts of translocation on behavior and survival of timber rattlesnakes, *Crotalus horridus*. *Journal of Herpetology* 33: 45-61.

Sullivan, B. K., E. M. Nowak y M. A. Kwiatowski. 2014. Problems with mitigation translocation of herpetofauna. *Conservation Biology* 29: 12-18.

Taylor, E. N., y D. F. DeNardo. 2005. Reproductive ecology of Western Diamond-Backed Rattlesnakes (*Crotalus atrox*) in the Sonoran Desert. *Copeia* 2005: 152-158.

Tinkle, D. W. 1962. Reproductive potential and cycles in female *Crotalus atrox* from northwestern Texas. *Copeia* 1962: 306-313.

Artículo II:

Home range and microhabitat use of resident and translocated individuals of the snake *Crotalus atrox* in the Biosphere Reserve Barranca de Metztitlán, Hidalgo, Mexico.

Autores: Leonardo Fernández-Badillo, Iriana Zuria, Nallely Morales Capellán, Guillermo Sánchez-Martínez, Gerardo Sánchez-Rojas, Gamaliel Castañeda-Gaytán, Ricardo Czaplewsky Cicero and Jesús Sigala-Rodríguez

Publicación: Se enviará a la revista Ichthyology and herpetology

Home range and microhabitat use of resident and translocated individuals of the snake *Crotalus atrox* in the Biosphere Reserve Barranca de Metztitlán, Hidalgo, Mexico.

Leonardo Fernández-Badillo^{1, 2}, Iriana Zuria¹, Nallely Morales Capellán², Guillermo Sánchez-Martínez^{2, 3}, Gerardo Sánchez-Rojas¹, Gamaliel Castañeda-Gaytán⁴, Ricardo Czaplewsky Cicero⁵ and Jesús Sigala-Rodríguez⁶

Habitat use is how an animal uses a collection of physical and biological entities in the space where it lives (Morrison et al., 2006). In the case of snakes, it represents one of the most important aspects of their ecology, and the detailed understanding of the spatial requirements of each species is fundamental to developing management and conservation strategies (Mata-Silva et al., 2018). Nevertheless, studying habitat use is challenging because of the snakes' cryptic nature, making it difficult to observe them in the field (Fernández-Badillo et al., 2017).

Telemetry is a helpful tool for studying wild animals (Reinert, 1992); it allows us to know the precise location of individuals during a specific period and enables us to understand the ecological implications of their response to changes in habitat conditions or anthropogenic pressures. For example, telemetry studies with snakes have allowed us to understand aspects of their home range size, movement patterns, behavior, natural history (diet, courtship, mating, foraging strategies), orientation, habitat preference, activity, and hibernation (Újvári and Zorsós, 2000).

Another application of telemetry has been the assessment of the effect of translocation as a mitigation tool for the human-snake conflict. Translocation is a non-lethal management strategy in which the nuisance animal is translocated to avoid its sacrifice, which is perceived as a humanitarian solution for dealing with this problem (Nowak et al., 2002; Messei et al., 2010). However, telemetry studies have shown that snake translocation is usually unsuccessful because many translocated animals return to the collection site (i.e., homing; Brown et al., 2007; Corbit, 2015). Also, there is a lack of fidelity

to the release sites, and translocation increases activity areas, movement patterns, and mortality rates (Reinert and Ruppert, 1999; Nowak et al., 2002; Sullivan et al., 2014; Devan-Song et al., 2016).

One of the leading mortality causes for translocated rattlesnakes is during the winter period, which has been related to the timing of the transmitter implant and snake release (King et al., 2004). Also, in ectothermic animals such as snakes, the selection of refugia or retreat sites has important ecological implications because these animals spend extended periods sequestered in these sites, and the physiological and survival costs of choosing a thermally unsuitable retreat site are high (Huey, 1991; Webb et al., 2004). So, for translocated individuals, mortality is also associated with their ability to find suitable hibernacula (Rudolph et al., 1998; Reinert and Ruppert, 1999). However, some authors have mentioned that in warmer climates, the need to utilize specific or communal hibernacula to escape freezing conditions is reduced (Dugan et al., 2008), so the inability to find ideal hibernacula may have fewer effects on survival (Corbit, 2015).

On the other hand, some successful translocation studies about short-distance translocation (SDT) showed that it did not affect the size of activity area, body condition, behavior or mortality rates of Western Rattlesnakes (Brown et al., 2007), the conclusion is that SDT is a short-term tool to manage the snake-human conflict in areas where human presence is seasonal or short-lived. Also, some studies observed that snakes that were subjected to long-distance translocation (LDT) were less able to return to areas in which they were causing conflict and this translocation did not affect their survival, so he considered LDT as a viable mitigation option to the human-snake conflict with some species (Corbit, 2015).

The Western diamondback rattlesnake *Crotalus atrox* has been studied in various aspects of its natural history such as diet (Beavers, 1976; Loughran et al., 2013; Schuett et al., 2013), reproduction (Tinkle, 1962; Taylor and DeNardo, 2005; Clark et al., 2014), spatial ecology and habitat use (Beck, 1995;

McInnes, 2013), and also some studies have analyzed the effects of translocation as a mitigation strategy for the human-snake conflict (Nowak et al., 2002). However, studies have only been carried out in U.S. populations. None of these aspects have been documented for other parts of its distribution area, where habitat and climatic conditions differ. In this work, the goal was to compare the home range size, microhabitat type, and microhabitat use between resident and translocated adult individuals of *Crotalus atrox* in the southernmost portion of its range, in a habitat where overwinter freezing temperatures do not occur.

MATERIALS AND METHODS

The study area (Fig. 1) is located at the southernmost portion of the continuous distribution of *Crotalus atrox*, inside a natural protected area, the Barranca de Metztitlán Biosphere Reserve, in the state of Hidalgo, Mexico. The dominant vegetation is xerophytic scrub, the weather is semi-arid temperate with summer rainfall (CONANP, 2003), the annual average temperature is between 18 y 22 °C, and that of the coldest month is 7 °C (Pavón y Meza-Sánchez, 2011). This reserve is located within the arid shrub ecoregion in the Central Plateau (Olson et al., 2001) and it is considered an extension of the Chihuahuan Desert (Miranda and Hernández, 1963).

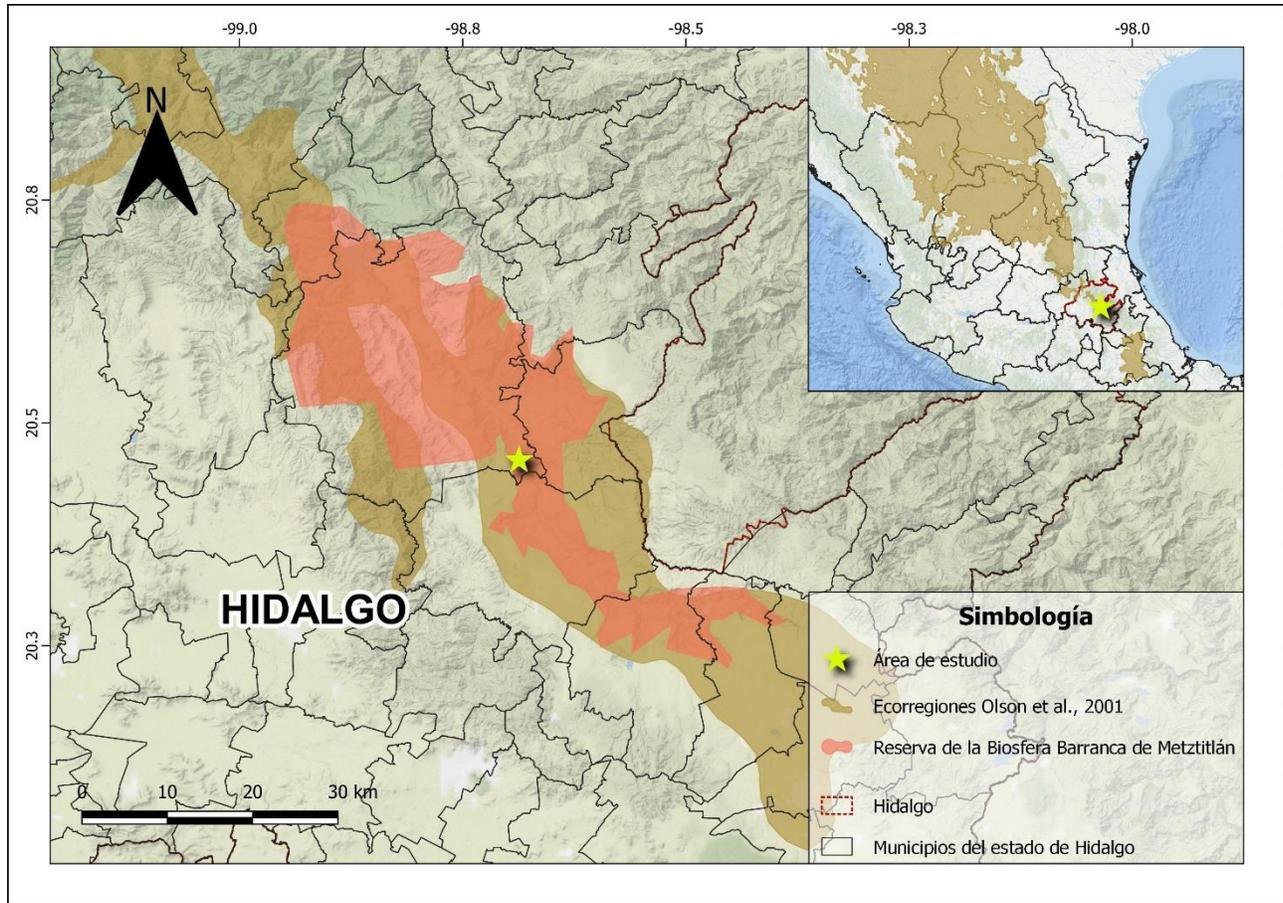


Figure 1. Study area of the individuals of *Crotalus atrox* within the Barranca de Metztitlán Biosphere Reserve, Hidalgo, México.

During 2018 and 2019 radio transmitters were implanted in 10 adult *C. atrox* obtained from non-systematic sampling with the VES method (Visual Encounter Survey; Foster, 2012), or from donations of snakes that were found and rescued near houses or croplands by local people. From these 10 snakes, 5 were treated as residents and 5 were translocated as explained below.

Sex was determined with sexing probes, and morphometric measurements were taken (snout-vent length: SVL, tail length: TL and weight) for each snake. Before releasing snakes, the rattle was painted with red nail polish, so local people could identify these individuals as part of this research.

Capítulo II

Each snake was named with the same name of the person who found it. Field work was conducted under the federal collecting permit SEMARNAT, SGPA/DGVS/008322/18.

Implanted radio transmitters (Telenax, model TXE 311I) represented less than the 5% of the snake's body mass (Hardy y Greene 1999), and battery life lasted from seven to 24 months. Radio transmitters were surgically implanted at the *Hospital de Especialidades Veterinarias San Jerónimo*, in Mexico City, following the methodology of Reinert and Cundall (1982) and Hardy and Greene (1999), with some adjustments. Snakes were anesthetized using a restriction tube (Murphy, 1971) connected to an anesthesia machine which administered Isoflurane vapor at 5%. During surgery, anesthesia (2.5 %) was administered by tracheal intubation. Veterinarians used sterile surgical procedures to implant a radiotransmitter under the skin and muscle, but outside of the coelomic cavity, in the posterior third of the body anterior to the vent. To prevent surgical pain in the snake, we used slow release Carprofen (Ramadil, Zoetis Lab, 50mg/ml presentation) in a single intramuscular dose of 4mg/kg. In contrast, a single intramuscular dose (8mg/kg) of slow release Sodic Cefovesin (Convenia, Zooetis Lab, 80mg/ml presentation) was used to prevent infections. At the end of the surgical procedure, 3M VetBond tissue glue was applied (Delisle et al., 2019) for the alignment and adhesion of the edges of the skin previously exposed by the suture pattern. The lung was artificially inflated after surgery to ensure adequate oxygenation.

Specimens were released from one to two weeks after surgery; residents were released at the capture site while translocated specimens were released more than 700 m from the place they were captured, which according to Nowak et al. (2002) and Corbit (2015), is considered a long-distance translocation. Specimens were monitored every five days and location data was taken: date, time, specimen id, coordinates, elevation, consecutive location number and general type of microhabitat

Capítulo II

(specific site where the specimen was found: on open ground, in, near or inside a rodent's nest or under rocks [Garcia and Ceballos, 1994]).

We adopted the term proposed by Hare and McNally (1997) of activity area for translocated snakes instead of home range, since these snakes were relocated from their normal activity area. The home range of resident specimens and activity area of translocated specimens were estimated using the minimum convex polygon method (MCP; White y Garrott, 1990) at 100% and 95% to better compare results with previous studies (Nowak et al., 2002; Clark et al., 2014). MCP was calculated with the Zoatrack online application (Newman et al., 2019; <https://zoatrack.org/>) and two estimations were obtained: short-term MCP with only the first 27 locations of each specimen, to eliminate any possible bias between individuals caused by differences in monitoring time, and long-term MCP with the total number of locations for each specimen,

At the site where each snake was located, we recorded microhabitat type (open ground, rodent nests, under rocks), and visually estimated six structural characteristics of the microhabitat in a 2-meter radius plot: slope (°), average height of shrubs (m; at least one meter high), average height of cacti (m), percentages of rock cover, vegetation cover and exposed soil cover. Additionally, within a 10-meter radius plot, we estimated the distance (m) to a potential refuge and to the nearest rodent nest (*Neotoma* sp.), as we know that these rodents are one of the primary food sources for *C. atrox* (Beavers, 1976). *Neotoma* burrows or nests are easily identified as mounds of vegetation, feathers, bones and animal excrement. They can be up to four meters in diameter and one meter tall (Ceballos and Oliva, 2005). So, when the snake was in a refuge or inside a *Neotoma*'s nest, we assigned a distance value of 0 m, and these observations were considered as “in the refuge”. For all the observations where the potential refuge or the rodent's nest was beyond 10 meters, we assigned a 10 m value, and were considered this distance as “far from the refuge”.

We used a Mann-Whitney U test, to analyze if there were any differences in the microhabitat variables between resident and translocated individuals, regardless of the distance to a refuge. Additionally, we used a Mann-Whitney U test to analyze if the microhabitat variables in the selected refuge differed between resident and translocated snakes.

At the end of the study, transmitters were surgically withdrawn from only three snakes, and individuals were released in the field at the site of the final encounter. Six snakes were lost, possibly due to a transmitter failure, and one snake died after ingesting a large prey. Surgeries were also performed at the same Veterinary Hospital.

RESULTS

Biometric and monitoring information for resident and translocated snakes is presented in Table 1. Females weighted an average of 1,270 g, and had an average SVL of 121 cm, while males were bigger (average = 2,249 g) and larger (SVL average = 145.6d cm). The total number of days each snake was monitored varied between 24 and 622 days. Home ranges were obtained for only eight snakes because there was not enough data for two individuals (Pablo and Marely), which were lost soon after surgery possibly due to a transmitter malfunction. (Table 2).

Table 1. Data for resident and translocated snakes *Crotalus atrox* captured in Barranca de Metztitlán, Hidalgo, Mexico. Names assigned to each monitored specimen are shown in the id column. Abbreviations: S= Sex (F: female, M: male); T= Treatment (R= resident, T= translocated); SVL= Snout-Vent-Length; TL= Tail length; W= Weight; TDM= Total days monitored; FD= Final destiny (TR-R= Transmitter removal, individual released; TMF-L= Possible transmitter malfunction, individual lost; DNC= Death by natural causes).

Id	S	T	SVL	TL	Weight	Start	End date	TDM	FD
			(cm)	(cm)	(gr)	date			
Sofía	F	R	106.5	7.5	800	26-08-18	3-03-19	189	TR-R
Miranda	F	R	119	7	1200	8-12-19	23-05-20	166	TMF-L
Vanesa	F	R	134	8	2150	8-12-19	28-06-20	201	TR-R
Jose	F	T	133	8	1350	26-08-18	4-08-18	341	TMF-L
Marely	F	T	117	7	850	8-12-19	26-01-20	50	TMF-L
Chava	M	R	158	12	3100	23-11-18	2-08-20	622	TR-R
Pablo	M	R	147	13	1900	21-07-19	14-08-19	24	TMF-L
Buyo	M	T	127	11	1494	24-03-19	28-06-20	462	TR-R
Chompiras	M	T	146.1	12.4	2600	9-06-19	16-10-19	130	TMF-L
Panuncio	M	T	150	20	2150	28-10-18	7-04-19	159	DNC

Capítulo II

In general, a tendency of smaller activity areas for resident than for translocated snakes, especially in females, was detected (Table 2). When using only the first 27 observations (short-term MCP) (Table 2), smaller home ranges were observed for resident females than for the resident male (MCP average at 100% was 3.4 ± 1.4 ha, while the male had an MCP of 26.6 ha (Fig. 2a). Resident female MCP average at 95% was 1.36 ± 0.23 ha and 24.5 ha for the male. In translocated individuals, patterns are not clear due to variability: the female had an MCP at 100% of 28.1 ha and 25.1 ha at MCP 95 % and the males had an average of 36.53 ± 38.37 ha for MCP at 100 % and 24 ± 20.07 at MCP 95% (Fig. 2b).

When using all the locations (long-term MCP) for resident snakes, females also had smaller home ranges than males for both MCP calculations (100 and 95 %), although a lot of variability is observed in the data (Table 2). Average resident female 100% MCP was 5.8 ± 3.1 ha and for 95% MCP it was 3.93 ± 2.45 ha; while the male specimen had a home range of 99.6 ha at 100% MCP and 87.8 ha at 95% (Fig. 3a). For translocated specimens (one female and three males), the female showed an activity area larger than two of the males. The total activity area obtained for the female was 84.7 ha at 100% MCP and 81 ha at 95% MCP, while the average activity area for males was 61.66 ± 81.2 ha at 100% MCP and 45.13 ± 54.43 at 95 % (Fig. 3b).

Table 2. Home range sizes for resident specimens and activity area for translocated snakes in ha. Name of each monitored snake is shown in the id column. Abbreviations: S= Sex (F=female, M= male); T= Treatment (R= resident, T= translocated); MCP= minimum convex polygon in ha. Short-term MCP corresponds to the first 27 observations for each specimen and long-term MCP to all the observations for each specimen.

Id	S	T	Short-term MCP 95%	Short-term MCP 100%	Long-term MCP 95%	Long-term MCP 100%
Soffa	F	R	1.5	5	4.1	5.1
Miranda	F	R	1.1	3	1.4	3.1
Vanesa	F	R	1.5	2.2	6.3	9.2
Jose	F	T	25.1	28.1	81	84.7
Chava	M	R	24.5	26.6	87.8	99.6
Buyo	M	T	47.1	80.8	107.9	155.4
Chompiras	M	T	10.8	12.6	10.8	12.6
Panuncio	M	T	14.1	16.2	16.7	17

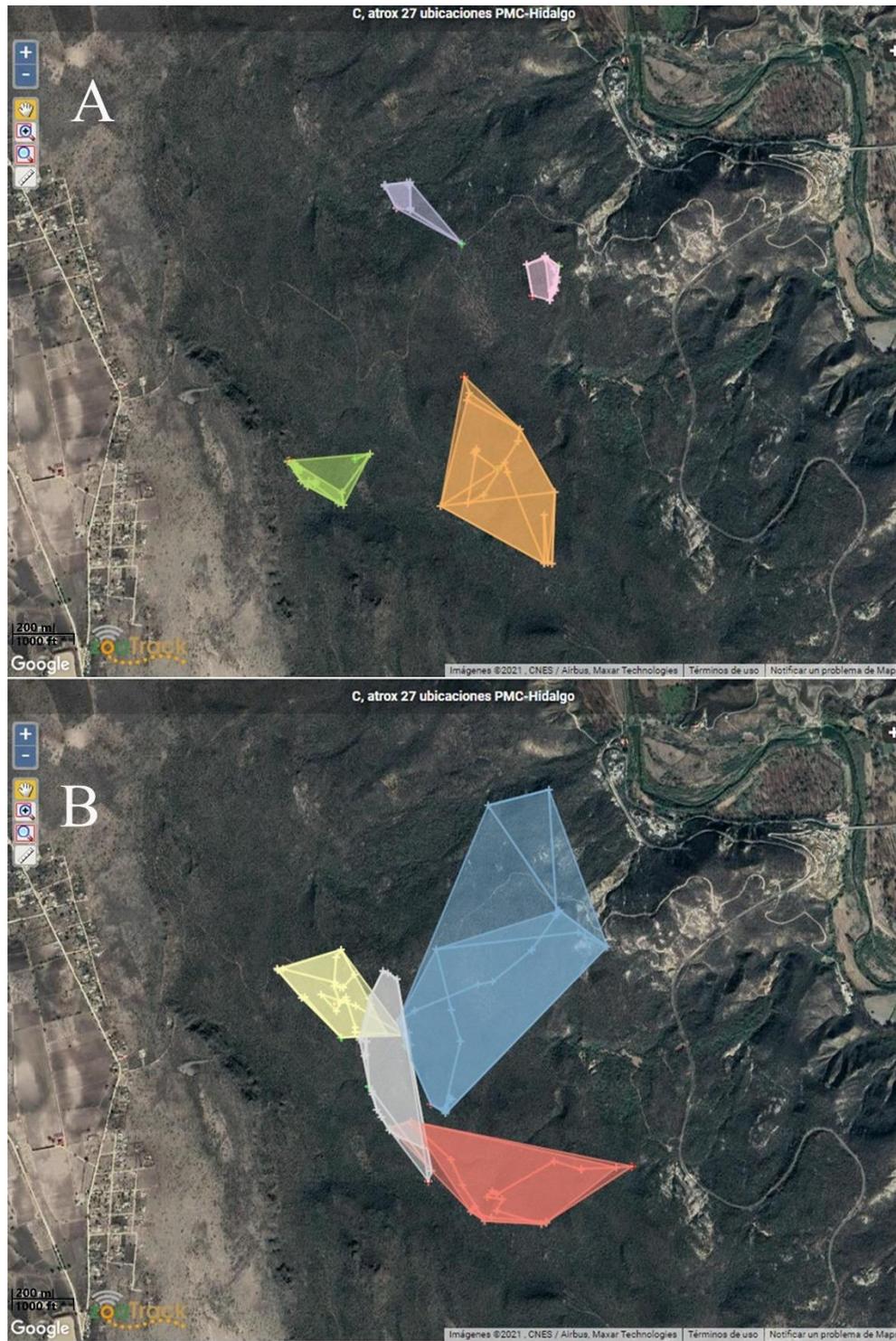


Figure 2. Short-term MCP 100% indicated with less opacity and 95% shown with more opacity. A) Residents: Chava (orange), Sofia (green), Miranda (lilac), Vanesa (pink). B) Translocated: Buyo (blue), Chompiras (yellow), Jose (red), Panuncio (gray).

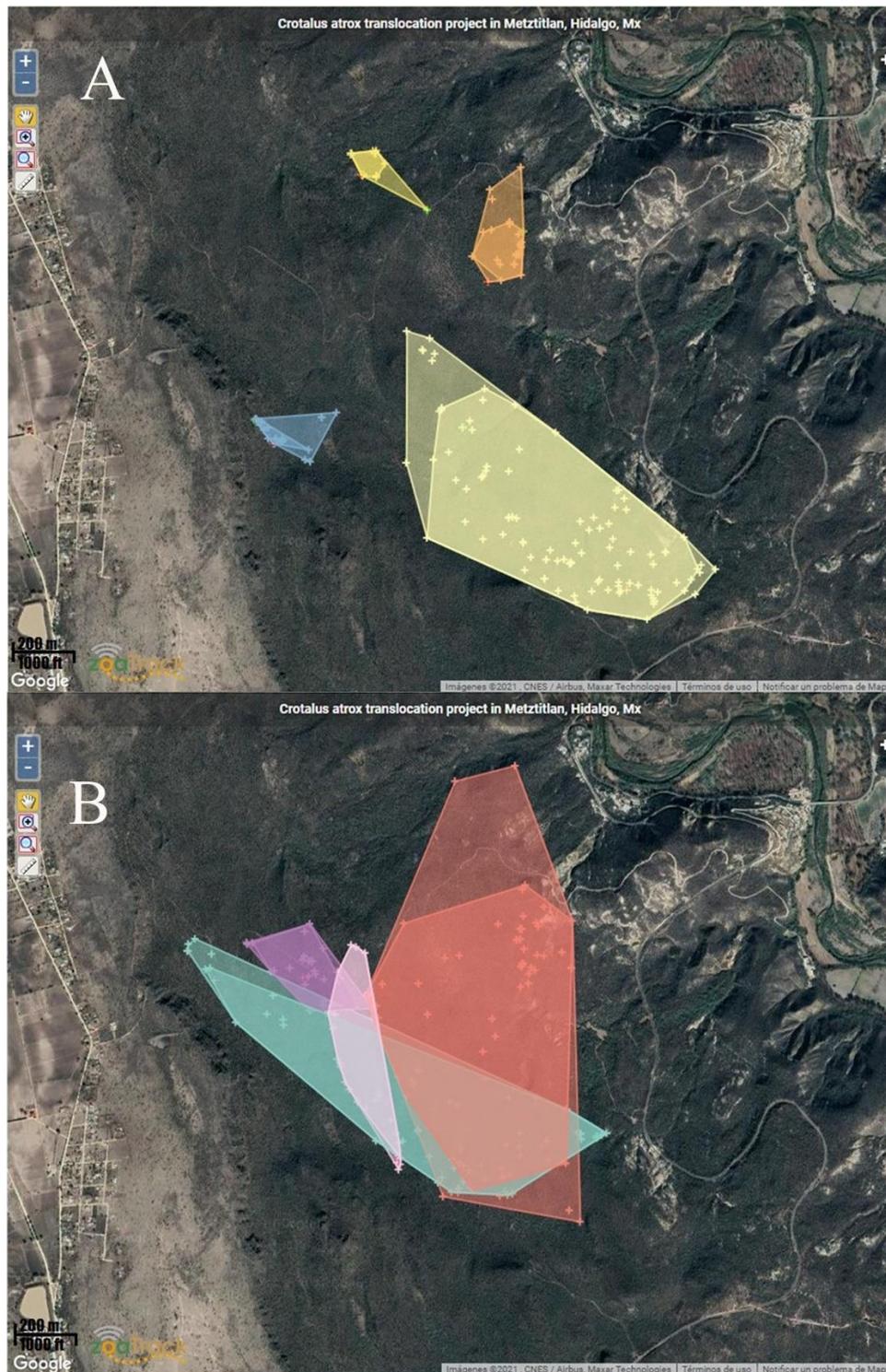


Figure 3. Long-term MCP, 100% shown with less opacity and 95% shown with more opacity. A) Residents: Chava (light yellow), Sofía (blue), Miranda (dark yellow), Vanesa (orange). B) Translocated: Buyo (red), Chompiras (purple), Jose (green), Panuncio (lilac).

Capítulo II

The general type of microhabitat was determined for 225 of the resident specimen sightings; most individuals were found on open ground (93 sightings), followed by rodent nests (58 sightings) and under rocks (49 sightings). The same pattern was observed for translocated specimens (228 sightings), since most were observed on open ground (99 sightings), followed by rodent's nests (64 sightings) and under rocks (46).

When evaluating the variables registered within the 2-m radius plot corresponding to the microhabitat selected by each snake, resident snakes were found in sites with an average rock coverage of 46.94%, 23.38% of exposed ground, and 29.02 % of vegetation cover, while translocated snakes were found in sites with an average rock coverage of 52.61% of rocks, 22.09% of exposed ground, and 25.64 % of vegetation cover. The sites where resident snakes were found had an average slope angle of 21.59°, an average height of shrubs of 2.12 m and an average height of cacti of 2.25 m (Table 3). For translocated snakes, the sites had a slope angle average of 19.21°, an average height of shrubs of 2.2 m, and an average height of cacti of 2.46 m (Table 3). Resident snakes were found at an average of 2.58 m from a potential refuge, but in 56.9% of the sightings (115), the snake was inside the refuge. The average distance from a rodent's nest was 5.53 m, and in 28.2% (57) of the sightings, the resident snakes were found inside a nest (Table 3). For the case of translocated snakes, the average distance to a refuge was on average 2.9 m, and in 58.3% of the sightings (112) the snake was inside the refuge (distance=0). The average distance to a rodent's nest was 5.89 m, and in 28.9% (57) of the sightings the snake was inside the nest (Table 3).

Table 3. Habitat variables measured in a 2-m radius plot around snake sighting sites in the Biosphere Reserve Barranca de Metztlán, Hidalgo.

Habitat variables measured (n= number of recorded observations)							
Residents n=202 sightings				Translocated n= 197 sightings			
Residents n=202	Mean	SD	Interval	Translocated n= 197	Mean	SD	Interval
Distance to a refuge	2.58	4.12	0-10	Distance to a refuge	2.92	4.3	0-10
Distance to a <i>Neotoma sp</i> nest	5.53	4.62	0-10	Distance to a <i>Neotoma sp</i> nest	5.89	4.65	0-10
Rock %	46.94	25.12	0-95	Rock %	52.61	29.46	0-90
Exposed ground %	23.38	17.24	0-80	Exposed ground %	22.09	19.79	0-80
Vegetation %	29.02	19.78	3-100	Vegetation %	25.64	17.97	0-75
Slope	21.59	21.2	0-80	Slope	19.21	18.05	0-60
Average height of shrubs	2.12	0.88	0-6	Average height of shrubs	2.27	0.96	0-3.5
Average height of cacti	2.25	1.99	0-8	Average height of cacti	2.46	2.07	0-6

When we compared microhabitat variables (slope, average height of shrubs, average height of cacti, percentages of rock cover, vegetation cover and exposed soil) between resident and translocated snakes (n= 202 for residents; n= 197 for translocated), we found significant differences only in the percentage of rock cover (Mann-Whitney *U* test; $Z= 2.41, P < 0.05$), so in general translocated snakes selected microhabitats with more percentage of rock cover (52.6 vs 46.2 % in residents). When we compared these same microhabitat variables for refuge sites between residents (n= 115) and translocated snakes (n=112), we found significant differences in the percentage of rock cover (Mann-Whitney *U* test; $Z= 4.3, P < 0.05$) and in the percentage of exposed soil cover (Mann-Whitney *U* test; $Z= 4.4, P < 0.05$; Table 4), so translocated snakes selected refuges in sites with more percentage of rock cover (62.32vs 53.48 % in resident snakes) and with less percentage of exposed soil cover (15.91 vs 20.04 % in resident snakes).

Table 4. Mann-Whitney test results of the microhabitat variables comparison between residents and translocated snakes at 0 meter form the refuge.

Microhabitat variable	U-Mann Whitney	
	Z	p
Slope	1.65	>0.05
% rocks cover	4.3	<0.05
% vegetation cover	1.7	>0.05
% exposed soil	4.4	<0.05
Average height of shrubs	1.25	>0.05
Average height of cacti	0.76	>0.05

DISCUSSION

In general, we found that translocated snakes had larger activity areas, despite small sample sizes and data variability. This increase in activity areas (regardless of sex) in translocated snakes is a negative effect of translocation (Nowak et al., 2002; Devan-Song et al., 2016; Todd and Nowakowski, 2020) and it may be attributable either to the search for prey, refugia or familiar environmental features in unfamiliar and structurally dissimilar habitats (Reinert and Ruppert, 1999; Nowak et al., 2004). Or it might be related to a homing behavior (Nowak et al., 2002), because the snake may be attempting to reach its former activity range (Brown et al., 2007). This process can take from six to more than twelve months (Reinert y Rupert, 1999; Butler et al., 2005; Nowak, 1998) and it has been suggested that success in translocating nuisance herpetofauna will be highest if animals are translocated before they establish a fixed home range (Sullivan et al., 2014).

We observed larger home ranges or activity areas for males than for females as has been reported before (Nowak et al., 2002; Devan-Song et al., 2016; Todd and Nowakowski, 2020). In this sense, sex is one of the many factors that can influence home range size, which can vary as a result of body size or mass, fertility, foraging strategy (active foraging or ambush), temperature, study area, habitat

Capítulo II

characteristics, season, prey abundance, diet, distance between hibernacula and foraging site, human presence and study duration (Beck, 1995; Nowak et al., 2002; Wastell and Mackessy, 2010; Breininger et al., 2011; Zappallorti et al., 2015; Devan-Song et al., 2016; MacGowan et al., 2016; Barnes et al., 2017; Todd and Nowakowski, 2020).

In Barranca de Metztitlan monitored snakes spent most of the time above ground, hiding mainly inside *Neotoma* nests or under rocks; *Neotoma* nests are used by *Crotalus atrox* in other areas of their distribution range as a refuge and for hibernation (Beck, 1995; Repp and Shuett, 2008), and these rodents have been identified as the most important component in its diet (Beavers, 1976; Pisani y Stephenson, 1991), so the presence of prey may influence the selection of refuges (Beck, 1995). In this sense, the proper selection of a refuge has important implications to the physiology and survival of snakes (Huey, 1991; Webb et al., 2004).

Translocated snakes in our study, selected retreat sites with more percentage cover of rocks and less percentage cover or exposed soil than resident snakes. Maybe, because in unfamiliar environments, the animals will select habitats with cues resembling those they are familiar with, assuming their prior experience was positive (natal habitat preference induction theory; Roe et al., 2010), or because translocated snakes, that are unfamiliar with the landscape (Harvey et al., 2014), can develop a procryptic behavior, selecting more covered and hidden sites than residents. Procrypsis may be an especially adaptative trait in areas with long histories of continual human use (Nowak et al., 2004), such as the crop lands located in our study site, where most of translocated snakes were captured.

In general, translocated and resident specimens monitored in this study, selected microhabitats with similar structural variables, and maybe were using microhabitats in a similar way, so it's possible that translocation did not affect their microhabitat selection, because habitat preference, foraging behavior

and prey preference have a strong genetic component, while movement patterns and home range are learned aspects (Reinert and Rupert, 1999).

In summary, our results lead us to believe that long-distance translocation in the RBBM, is not as negative as has been documented in other studies (Nowak et al., 2002; Butler et al., 2005; Devan-Song et al., 2016) and is a viable option for reducing human-snake conflict and for promoting snake conservation. The main threat in the Barranca de Metztitlán Biosphere Reserve for resident and translocated *C. atrox* individuals is human-caused mortality, which is consistent with other studies that have reported human-induced mortality in areas where rattlesnakes and humans co-exist (Rosen y Lowe, 1994; Greene, 1999; Nowak et al., 2002; Brown et al., 2007; Ávila-Villegas, 2017), so it's necessary to develop and establish educational programs with the local residents to improve their coexistence with snakes, and to avoid the intentional killings. Also, it is necessary to ensure that people who suffer a snakebite have access to adequate and effective treatments. To avoid future conflicts, and to ensure the survival of individuals, snakes should be released in less perturbed areas, with suitable habitat, specifically with a great abundance of rocks and the presence of *Neotoma* nests.

DATA ACCESIBILITY

All the data for the MCP analysis are disponible at <https://zoatrack.org/>

Short-term MCP: <https://zoatrack.org/projects/1008/analysis>

Long-term MCP: <https://zoatrack.org/projects/937/analysis>

LITERATURE CITED

Ávila-Villegas, H. 2017. Serpiente de cascabel. Entre el peligro y la conservación. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Barnes, C. H., C. T. Strine, P. Suwanweree, and J. G. Hill III. 2017. Movement and home range of green pit vipers (*Trimeresurus* spp.) in a rural landscape in north-east Thailand. The herpetological Bulletin 142:19-28.

Beavers R. A. 1976. Food habits of the western diamondback rattlesnake, *Crotalus atrox*, in Texas (Viperidae). Southwestern Naturalist 20:503–515.

Beck, D. D. 1995. Ecology and energetics of three sympatric rattlesnake species in the Sonoran Desert. Journal of Herpetology 29:211-223.

Breininger, D. R., M. R. Bolt, M. L. Legare, J. H. Drese, and E. D. Stolen. 2011. Factors influencing home-range sizes of Eastern Indigo snakes in central Florida. Journal of Herpetology 45:484-490.

Brown, J. R., C. A. Bishop, and R. J. Brooks. 2007. Effectiveness of short-distance translocations and its effects on western Rattlesnakes. Journal of Wildlife Management 73:19-425.

Butler, H., B. Malone, and N. Clemann. 2005. The effects of translocation on the spatial ecology of tiger snakes (*Notechis scutatus*) in a suburban landscape. Wildlife Research 32:165-171.

Clark, R. W., G. W. Schuett, R. A. Repp, M. Amarello, C. F. Smith, and H. W. Hermann. 2014. Mating systems, reproductive success and sexual selection in secretive species: A case study of the Western Diamond-Backed Rattlesnake, *Crotalus atrox*. PlosOne 9:1-12.

Ceballos, G., and G. Oliva. 2005. Los mamíferos silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP). 2003. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, México. Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP), México.

Corbit, A. G. 2015. The dynamics of human and rattlesnake conflict in Southern California. Unpubl. Ph.D. diss., Loma Linda, California.

Delisle, Z. J., D. Ransom, Jr., W. I. Lutterschmith, and J. Delgado-Acevedo. 2019. Site-specific differences in the spatial ecology of northern cottonmouths. *Ecosphere* 10:1-11.

Devan-Song, A., P. Martelli, D. Dudgeon, P. Crow, G. Ades, and N. E. Karret. 2016. Is long distance translocation an effective mitigation toll for White-lipped pit vipers (*Trimeresurus albolabris*) in south China. *Biological Conservation* 204:212-220.

Dugan, E. A., A. Figueroa, and W. K. Hayes. 2008. Home range size, movements, and mating phenology of sympatric Red Diamond (*Crotalus ruber*) and Southern Pacific (*C. oreganus helleri*) Rattlesnakes in Southern California, p. 353-364. *In: The biology of Rattlesnakes.* W. K. Hayes, K. R. Beaman, M. D. Cardwell, and S. P. Bush (eds.). Loma Linda University Press, Loma Linda, California.

Foster, M. S. 2012. Standard Techniques for Inventory and Monitoring, p. 205-271. *In: Reptile Biodiversity: Standard Methods for Inventory and Monitoring.* R. W. McDiarmid, M. S. Foster, C. Guyer, J. W. Gibbons, and N. Chernoff (eds.). The Regents of the University of California, California.

García, A., and G. Ceballos. 1994. Guía de los reptiles y anfibios de la costa de Jalisco, México. Fundación Ecológica de Cuixmala. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Greene, H. W. 1999. Living with snakes, p. 15-19. *In*: G. H. Rodda, Y. Sawai, D. Chizar, and T. Tanaka (eds.). Problem snake management. The Habu and the Brown Treesnake. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Hardy, D. L., and H. W. Greene. 1999. Surgery on rattlesnake in the field for implantation of transmitters. *Sonoran Herpetologist* 12:25-27.

Hare, T., and J. T. McNally. 1997. Evaluation of a rattlesnake relocation program in the Tucson, Arizona, area. *Sonoran Herpetologist* 85724:26-31.

Harvey, D. S., A. M. Lentini, K. Cedar, and P. J. Weatherhead. 2014. Moving Massasaguas: Insight into Rattlesnake relocation using *Sistrurus c. catenatus*. *Herpetological Conservation Biology* 9:67-75.

Huey, R.B. 1991. Physiological consequences of habitat selection. *The American Naturalist* 137S:91-115.

King, R., C. Berg, and B. Hay. 2004. A repatriation study of the eastern Massasauga (*Sistrurus catenatus catenatus*) in Wisconsin. *Herpetologica* 60:420-429.

Loughran, C. L., E. M. Nowak, J. Schofer, K. O. Sullivan, and B. K. Sullivan. 2013. Lagomorphs as prey of Western Diamond-backed Rattlesnakes (*Crotalus atrox*) in Arizona. *The Southwestern Naturalist* 58:502-505.

MacGowan, B. J., A. F. T. Currylow, and J. E. MacNeli. 2016. Short-term responses of Timber Rattlesnakes (*Crotalus horridus*) to even-aged timber harvest in Indiana. *Forest Ecology and Management* 387:30-36.

- Massei, G., R. J. Quay, J. Gurney, and D. P. Cowan.** 2010. Can translocations be used to mitigate human-wildlife conflicts? *Wildlife Research* 37:428-439.
- Mata-Silva, V., D. L. DeSantis, A. E. Wagler, and J. D. Johnson.** 2018. Spatial ecology of Rock Rattlesnakes (*Crotalus lepidus*) in far west Texas. *Herpetologica* 74:245-254.
- McInnes, T. L.** 2013. Habitat preference of the Western Diamond-backed Rattlesnakes (*Crotalus atrox*) at Bosque del Apache National Wild Refuge, New Mexico: An analysis at multiple scales. Master of Science Thesis. The University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico.
- Miranda, F., and X. E. Hernández.** 1963. Los tipos de vegetación en México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica Mexicana* 28:27-72.
- Morrison, M. L., B. G. Marcoi, and R. W. Mannan.** 2006. Wildlife-habitat relationships. Concepts and applications. Island Press. Washington, D.C.
- Murphy, J. B.** 1971. A method for immobilizing venomous snakes at Dallas Zoo. *International Zoo Yearbook* 11:230-231.
- Nowak, E. M., T. Here, and J. T. McNally.** 2002. Management of “nuisance” effects of translocation on Western Diamond-backed Rattlesnakes (*Crotalus atrox*), p. 533-560. *In:* G. W. Schuett, M. Höggren, M. E. Douglas, and H. W. Greene. (eds.). *Biology of the Vipers*. Eagle Mountain Publishing, Utah.
- Newman, P., R. G. Dwyer, L. Belbin, and H. A. Campbell.** 2019. ZoaTrack- an online tool to analyse and share animal location data: User engagement and future perspectives. *Australian Zoologist* 41:12-18.

Olson, D. M., E. Dinerstein, E. D. Wikramanayake, N. D. Burges, G. V. N. Powell, E. C. Underwood, J. A. D'Amico, A. Itoua, H. E. Strand, J. C. Morrison, C. J. Loucks, T. F. Allnutt, T. H. Ricketts, Y. Kura. . . K. R. Kassem. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on earth. *BioScience*, 51:933–938.

Pavón, N. P., and M- Meza-Sánchez. 2011. Cambio climático en el estado de Hidalgo: clasificación y tendencias climáticas. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo, México.

Pisani, G. R., and B. R. Stephenson. 1991. Food habits in Oklahoma *Crotalus atrox* in fall and early spring. *Transactions of the Kansas Academy of Science* 94:137-141.

Plummer, M. V., and N. E. Mills. 2000. Spatial ecology and survivorship of resident and translocated Hognose Snakes (*Heterodon platirhinos*). *Journal of Herpetology* 34:565-575.

Reinert, H. K. 1992. Radiotelemetric field studies of pitvipers: data acquisition and analysis, p. 185-198. *In*: J. A. Campbell, and E. D. Brodie Jr. (eds.). *The biology of Pitvipers*. Selva, Tyler, Texas.

Reinert, H. K., and D. Cundall. 1982. An improved surgical implantation method for radio-tracking snakes. *Copeia* 3:702-705.

Reinert, H. K., and R. R. Rupert. 1999. Impacts of translocation on behaviour and survival of timber rattlesnakes, *Crotalus horridus*. *Journal of Herpetology* 33:45-61.

Rencher, A. C. 2002. *Methods of multivariate analysis*. Wiley-Interscience, USA.

Repp, R. A., and G. W. Schuett. 2008. Western Diamond-Backed Rattlesnakes, *Crotalus atrox* (Serpentes: Viperidae), gain water by harvesting and drinking rain, and snow. *The Southwestern Naturalist* 53:108-114.

Roe, J. H., M. R. Frank, S. E. Gibson, O. Attum, and B. A. Kingsbury. 2010. No place like home: an experimental comparison of reintroduction strategies using snakes. *Journal of Applied Ecology* 47:1253-1261.

Rosen, P. C., and C. H. Lowe. 1994. Highway mortality of snakes in the Sonoran Desert of Southern Arizona. *Biological Conservation* 68:143-148.

Rudolph, D. C., S. J. Burgdorf, R. R. Schaefer, and R. N. Coner. 1998. Snake mortality associated with late season radio-transmitter implantation. *Herpetological Review* 29:155-156.

Schuett, G. W., R. A. Repp, M. Amarello, and C. F. Smith. 2013. Unlike most vipers, female rattlesnakes (*Crotalus atrox*) continue to hunt and feed throughout pregnancy. *Journal of Zoology* 289:101-110.

Sullivan, B. K., E. M. Nowak, and M. A. Kwiatowski. 2014. Problems with mitigation translocation of herpetofauna. *Conservation Biology* 29:12-18.

Taylor, E. N., and D. F. DeNardo. 2005. Reproductive ecology of Western Diamond-Backed Rattlesnakes (*Crotalus atrox*) in the Sonoran Desert. *Copeia* 2005:152-158.

Tinkle, D. W. 1962. Reproductive potential and cycles in female *Crotalus atrox* from northwestern Texas. *Copeia* 1962:306-313.

Todd, B. D., and A. J. Nowakowski. 2020. Ectothermy and the macroecology of home range scaling in snakes. *Global Ecology and Biogeography* 00:1-15.

Újvári, B., and Z. Korsós. 2000. Use of radiotelemetry on snakes: a review. *Acta Zoológica Academiae Scientiarum Hungaricae* 46:115-146.

Wastell, A.R., and S.P. Mackessy. 2011. Spatial ecology and factors influencing movement patterns of Desert Massasauga rattlesnakes (*Sistrurus catenatus edwardsii*) in southeastern Colorado. *Copeia* 2011:29–37.

Webb, J.K., R.M. Pringle, and R. Shine. 2004. How do nocturnal snakes select diurnal retreat sites?. *Copeia* 2004:919-925.

White, G. C., and R. A. Garrot. 1990. Analysis of wildlife radio-tracking data. Academic Press, San Diego, California.

Zappalorti, R., J. Burger, and F. Petterson. 2015. Home range size and distance traveled from hibernacula in Northern Pinesnakes in the New Jersey Pine Barrens. *Herpetologica* 71:26-36.

Zar, J. H. 2010. Biostatistical Analysis. Fifth Edition. Pearson Prentice Hall. New Jersey.

Artículo III:

Patrones de movimiento y actividad en ejemplares residentes y translocados de la serpiente de cascabel *Crotalus atrox* en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo.

Autores: Leonardo Fernández-Badillo, Iriana Zuria, Nallely Morales Capellán, Guillermo Sánchez-Martínez, Jesús Sigala-Rodríguez, G. Castañeda-Gaytán, G. Sánchez-Rojas and Ricardo Czaplewsky Cicero

Publicación: Revista por definir

Patrones de movimiento y actividad en ejemplares residentes y translocados de la serpiente de cascabel *Crotalus atrox* en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo.

Leonardo Fernández-Badillo ^{1,2}, Iriana Zuria ¹, Nallely Morales Capellán², Guillermo Sánchez-Martínez^{2,3}, Jesús Sigala Rodríguez ⁴, G. Castañeda-Gaytán⁵, G. Sánchez-Rojas¹ and Ricardo Czaplewsky Cicero⁶

1 Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Km.4.5 Carr. Pachuca-Tulancingo, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

2 Predio Intensivo de Manejo de Vida Silvestre X-Plora Reptilia. Carretera México-Tampico s/n, Pilas y granadas, 43350, Metztitlán, Hidalgo, México.

3 Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre UMA Santana, Carretera México-Tampico s/n, Pilas y granadas, 43350, Metztitlán, Hidalgo, México.

4 Colección Zoológica de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, C. P. 20131, Aguascalientes, Aguascalientes, México.

5 Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Av. Universidad s/n Fracc. Filadélfia, CP. 35020, Gómez Palacio, Durango, México.

6 Hospital de Especialidades Veterinarias San Jerónimo. Av. San Jerónimo 1431, San Jerónimo Lídice, La Magdalena Contreras, CP. 10200, Ciudad de México, México

Introducción

Los patrones espaciales de movimiento pueden reflejar varios elementos de la ecología de una especie, como sus necesidades en un momento particular o la disponibilidad de recursos (Gregory et al., 1987). El entendimiento de estos patrones, así como los requerimientos de hábitat y la distribución espacial es información indispensable para tomar decisiones informadas de manejo ecológico (Durbian et al., 2008; Wastell y Mckessy, 2011).

Los movimientos en las serpientes son consecuencia de fenómenos como la dispersión de crías, el escape de depredadores, el traslado desde los hibernáculos hacia las áreas de forrajeo, la búsqueda de

refugios para la termorregulación diaria, para buscar alimento o pareja (Landreth, 1973; Gibbons y Semlitsch 1987) y normalmente la variación temporal de las necesidades y los recursos tienen influencia sobre estos movimientos (Seigel y Pilgrim, 2002). En las serpientes de cascabel, la actividad cambia dramáticamente con los cambios estacionales de precipitación y temperatura (Dugan et al., 2008), por ejemplo, las especies que viven en el hemisferio norte, tienden a hibernar durante varios meses y suspenden totalmente sus actividades en los meses de invierno (Rubio, 1998). Sin embargo, esto no ocurre en zonas más cálidas o en ambientes tropicales, donde las serpientes no necesitan de hibernáculos para escapar de las condiciones de congelamiento (Corbit, 2015) y se mantienen activas todo el año (Tozetti y Martins, 2012).

La Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (RBBM) en Hidalgo, México, es la zona más sureña de la distribución continua de la serpiente de cascabel *Crotalus atrox*, y difiere en condiciones ambientales respecto a las otras zonas más norteñas de su distribución en Arizona, EUA. Ahí se han estudiado sus patrones de movimiento y actividad (Landerth, 1973; Beck, 1995; Nowak et al., 2002; Clark et al. 2014), por lo que analizar y comparar estos aspectos de su ecología espacial en su distribución más sureña es un contraste que puede ayudar a proponer soluciones para su manejo que puedan coadyuvar en la mitigación del conflicto humano-serpiente que se presenta en México.

El objetivo de este trabajo es analizar los patrones de desplazamiento y de actividad de ejemplares residentes y translocados de la serpiente *Crotalus atrox* dentro de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (RBBM), Hidalgo.

Materiales y métodos

Se implantaron radiotransmisores (Telenax, modelo TXE 311I) y carretes de hilo en individuos de *C. atrox* de la RBBM, Hidalgo (Fig. 1), obtenidos a partir de muestreos no sistemáticos con el método de búsqueda por encuentros visuales o VES por sus siglas en inglés (Foster, 2012), o provenientes de rescates o donaciones por parte de pobladores locales, durante el periodo de 2018-2019. Cada ejemplar fue medido (longitud hocico cloaca: LCH, longitud de la cola: LC), pesado, sexado y nombrado con el nombre propio de la persona que la encontró o donó al proyecto, lo cual se hizo para generar más empatía entre los pobladores. Los ejemplares fueron marcados con una mancha de barniz de uñas color rojo en el cascabel, para que los pobladores del lugar pudieran identificar a los individuos del estudio y evitaran sacrificarlos. La captura y el manejo de los ejemplares se realizó

con los permisos de recolecta SGPA/DGVS/008322/18 y SGPA/DGVS/8927/19, otorgados por SEMARNAT a Leonardo Fernández Badillo.

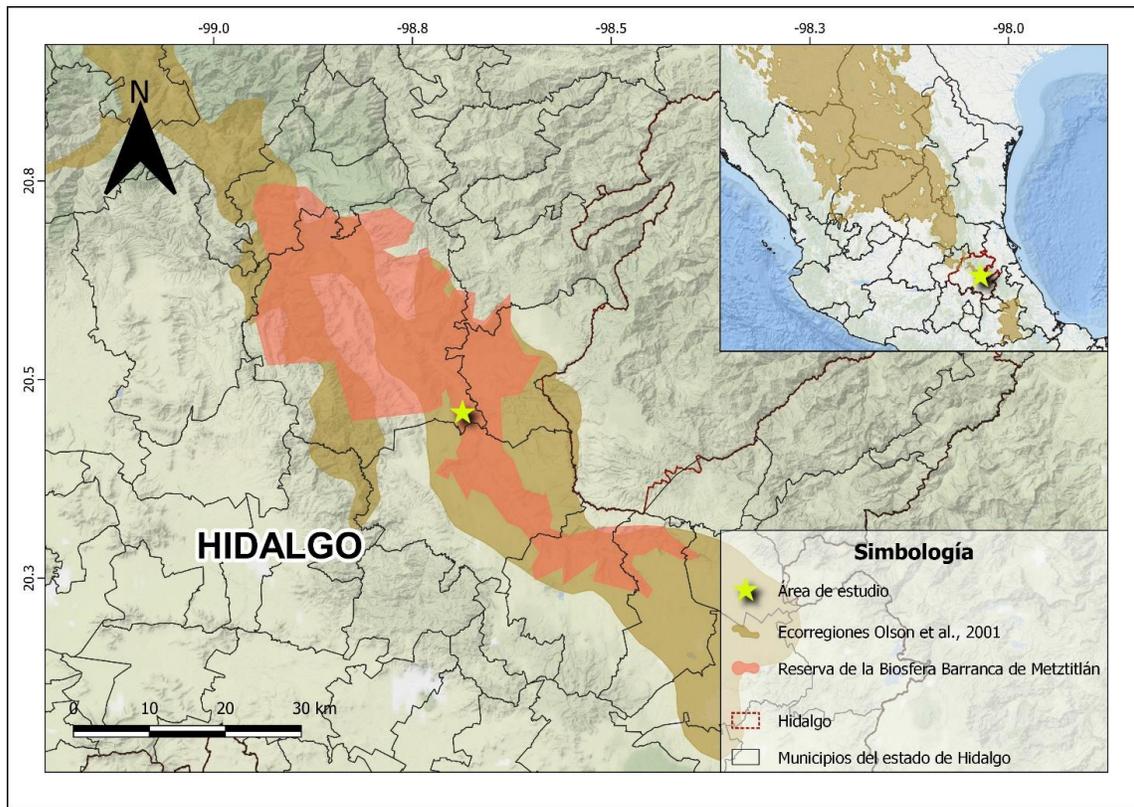


Figura 1. Mapa de la zona de estudio.

Los transmisores se implantaron en serpientes de talla adulta (> 120 cm), considerando que estos representarían siempre menos del 5% de la masa corporal de la serpiente (Hardy y Greene 1999). Para ello, las serpientes fueron trasladadas al Hospital de Especialidades Veterinarias San Jerónimo, en la Ciudad de México, y se siguió el procedimiento quirúrgico recomendado por Reinert y Cundall (1982) y Hardy y Greene (1999), con las modificaciones descritas por Fernández-Badillo et al. (*en prensa*). Los ejemplares fueron liberados entre una semana y quince días posteriores a la operación debido a la logística del trabajo de campo y para verificar que no hubiera reacciones negativas como resultado del implante.

La liberación de los ejemplares residentes se realizó en el sitio exacto de captura y los translocados a más de 700 m del sitio de captura, lo que corresponde a una translocación a larga distancia (Nowak et al., 2002). El monitoreo de los organismos se llevó a cabo con equipo de telemetría, y los animales se buscaron en promedio cada cinco días, en un periodo de entre uno y 19 meses, y en cada sitio de

Capítulo II

observación se georreferenció el sitio de observación y se registró la postura y/o actividad de la serpiente (enroscada, estirada, en movimiento). Además, con un micromedidor de calidad ambiental modelo 8e0070, marca Sper Scientific LTD y un termopar, se midió la temperatura del ambiente T_a (a un metro de altura), y colocando la punta del termopar sobre el suelo o sobre el dorso de la serpiente, se midió la temperatura del suelo junto a la serpiente T_s y la temperatura corporal del dorso de la serpiente T_b .

Para conocer los patrones de movimiento, se calcularon los siguientes índices, con base en Reinert (1992) y Nowak et al. (2002): 1) distancia total recorrida (DT= obtenida al sumar todas las distancias entre ubicaciones; 2) distancia media recorrida por día (DMD= obtenida al dividir la distancia recorrida entre ubicaciones sucesivas, entre el número de días transcurridos entre esas ubicaciones); 3) frecuencia de movimiento entre dos ubicaciones consecutivas (FM= obtenida al dividir el número total de movimientos entre el total de ubicaciones); 4) direccionalidad de los movimientos entre ubicaciones consecutivas, mediante la prueba de Rayleigh (Batschelet, 1981). Se consideró como un movimiento, a aquellas ubicaciones sucesivas con más de seis metros de diferencia (Nowak et al., 2002). Todas las distancias se midieron utilizando el programa ArcGIS. La media y la desviación estándar de los datos se calcularon en Excel.

Para obtener datos de desplazamiento a corto plazo, se colocó un carrete de hilo de 300 m con base en la técnica descrita por Tozetti y Martins (2007), para poder calcular la distancia total del recorrido (DTR), la cual se obtiene al medir todo el hilo que utilizó la serpiente en su recorrido y la distancia en línea recta (DLR) entre el punto inicial y el punto final del recorrido, lo cual se obtiene con las georreferencias del punto inicial y el punto final, y midiendo la distancia entre ambos en un sistema de información geográfica.

Previo a los análisis de la temperatura se comprobó la normalidad de los datos con la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Se evaluó la asociación entre las variables T_a y T_b y T_s y T_b , mediante la correlación de Pearson. Se realizó una prueba de t-Student para conocer si existen diferencias significativas entre los promedios de las temperaturas T_a , T_b y T_s (de todos los ejemplares juntos), entre los meses de invierno (diciembre-febrero) y el resto del año (marzo-noviembre).

Resultados

Se lograron implantar transmisores a 10 serpientes (cinco residentes y cinco translocados (Cuadro 1). Sin embargo, debido a los pocos datos del macho residente Pablo y la hembra translocada Marely,

Capítulo II

estos no fueron analizados. Para el caso de los ejemplares residentes, se obtuvo un promedio de DT de 5009.5 ± 6931.34 m, una DMD de 12.33 ± 8.55 m y una FM de 0.6 ± 0.17 y para los residentes la DT fue de 6219 ± 4635 m, la DMD fue de 18.49 ± 7.1 m y la FM de 0.83 ± 0.17 (Cuadro 2). Para las hembras residentes se observó en promedio una DT de 1553.33 ± 660.47 m, una DMD de 8.21 ± 2.79 m, una FR de 0.53 ± 0.11 m, y para el macho se obtuvo una DT de 15,375 m, una DMD de 24.71 m y una FR de 0.83 (cuadro 2; Fig. 2A). En la hembra translocada se obtuvo una DT de 7152 m, un PDMD de 17.56 m y una FM de 0.64 y en los machos un promedio de 5908 ± 5625.43 m de DT, un PDMD de 18.8 ± 8.6 y una FM de 0.92 ± 0.06 (Cuadro 2; Fig. 2B).

Cuadro 1. Datos generales, movimientos, ubicaciones y destino final de los ejemplares residentes y translocados de *Crotalus atrox* del estudio. Abreviaturas: S= Sexo; T= Tratamiento (R= residente, T= translocado); LHC= Longitud hocico-cloaca; LC= Longitud de la cola; DM= Total de días de monitoreo; TU= Total de ubicaciones; TM= Total de movimientos (mayores a seis metros); RTL=Se retiró el transmisor y se liberó; PFT= Se perdió, posible falla del transmisor; MCN= Muerte por causas naturales.

Ejemplar	S	T	LHC (cm)	LC (cm)	Peso (gr)	Fecha inicial	Fecha final	DM	TU	TM	Destino final
Sofía	H	R	106.5	7.5	800	26-08-18	3-03-19	189	39	23	RTL
Chava	M	R	158	12	3100	23-11-18	2-08-20	622	115	96	RTL
Pablo	M	R	147	13	1900	21-07-2019	14-08-19	24	6	5	PFT
Miranda	H	R	119	7	1200	8-12-2019	23-05-20	166	30	12	PFT
Vanesa	H	R	1340	8	2150	8-12-2019	28-06-20	201	36	22	RTL
Jose	H	T	133	8	1350	26-08-18	4-08-18	341	71	46	PFT
Buyo	M	T	127	11	1494	24-03-19	28-06-20	462	78	75	RTL
Chompiras	M	T	146.1	12.4	2600	9-06-19	16-10-19	130	26	23	PFT
Marely	H	T	117	7	850	8-12-19	26-01-20	50	6	2	PFT
Panuncio	M	T	150	20	2150	28-10-18	7-04-19	159	32	27	MCN

Capítulo II

Cuadro 2. Parámetros de movimiento y ecología espacial de los ejemplares residentes y translocados de *Crotalus atrox*. Abreviaturas: S= Sexo; DT= Distancia total recorrida; PDMD= Promedio de la distancia media recorrida por día; FM= Frecuencia de movimiento.

Residentes				
Ejemplar	S	DT (m)	PDMD (m)	FM
Sofía	H	1452	7.68	0.58
Chava	M	15,375	24.71	0.83
Miranda	H	951	5.72	0.4
Vanesa	H	2260	11.24	0.61
Promedio		5009.5	12.33	0.6
SD		6931.3	8.55	0.17
Translocados				
Ejemplar	S	DT (m)	PDMD (m)	FM
Jose	H	7152	17.56	0.64
Buyo	M	12391	27.93	0.97
Chompiras	M	2315	17.8	0.88
Panu	M	3018	10.69	0.84
Promedio		6219	18.49	0.83
SD		4635	7.1	0.17

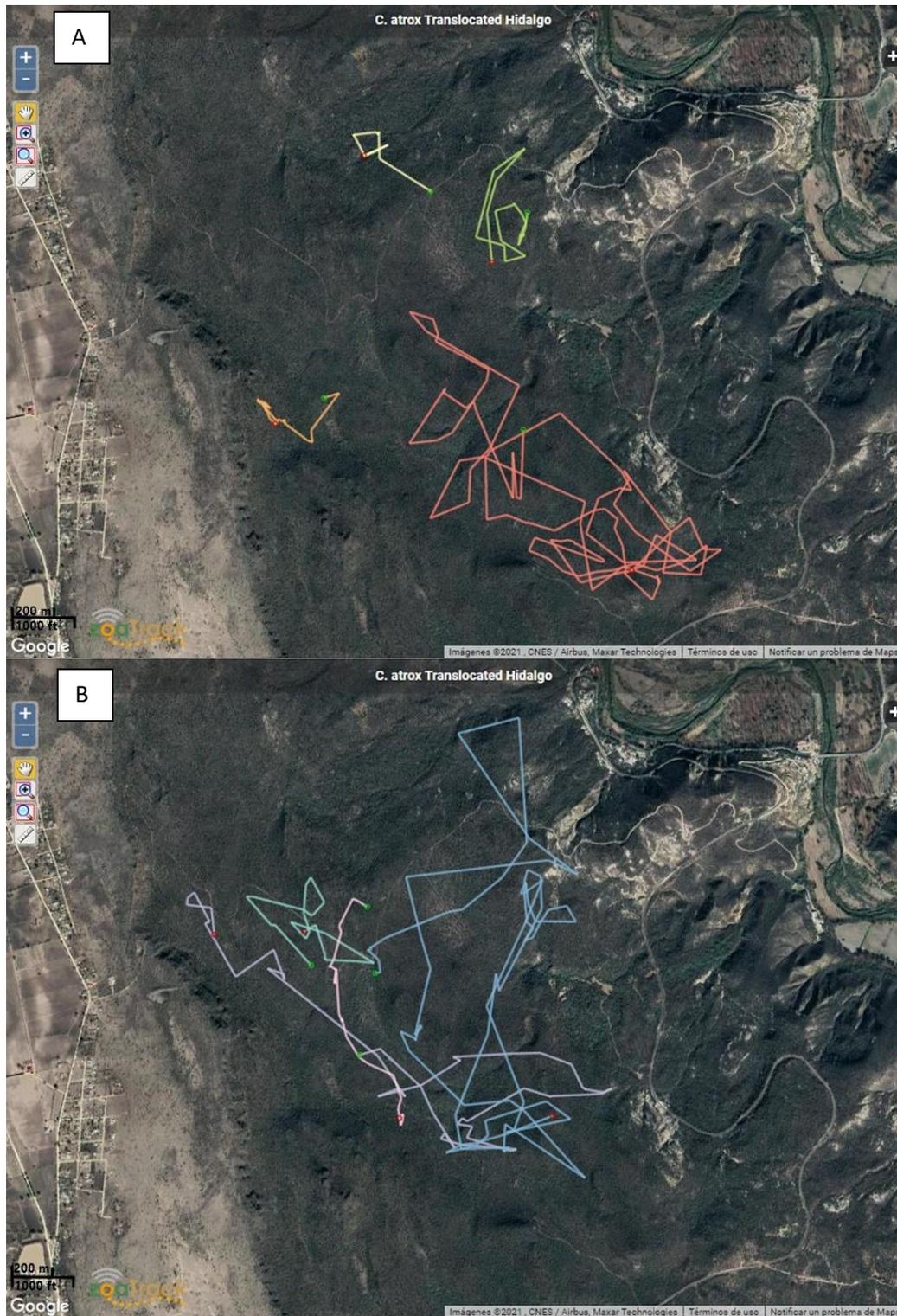


Figura 2. Trayectorias de los ejemplares de la serpiente de cascabel *Crotalus atrox* monitoreados. A) Residentes, B) Translocados dentro de la RBBM

Con base en la distancia recorrida mensualmente, las hembras residentes presentaron intervalos de movimiento mensual desde los 0 a los 695.68 m, y la hembra translocada de 2.2 a 1069.4 m. En el macho residente se presentaron valores mensuales de 8.24 a 1436.5 m, y de 25.31 a 1969.48 m, en los translocados. Tanto los residentes como los translocados, se movieron menos durante los meses de enero y febrero (Fig. 2), las hembras disminuyeron casi totalmente su actividad con un intervalo de movimientos mensuales de 0 a 126.3 m y los machos de 8.24 a 384.8 m. Los meses en los que se registraron los mayores desplazamientos variaron entre individuos, presentándose los picos máximos de movimiento para cada uno desde marzo hasta septiembre.

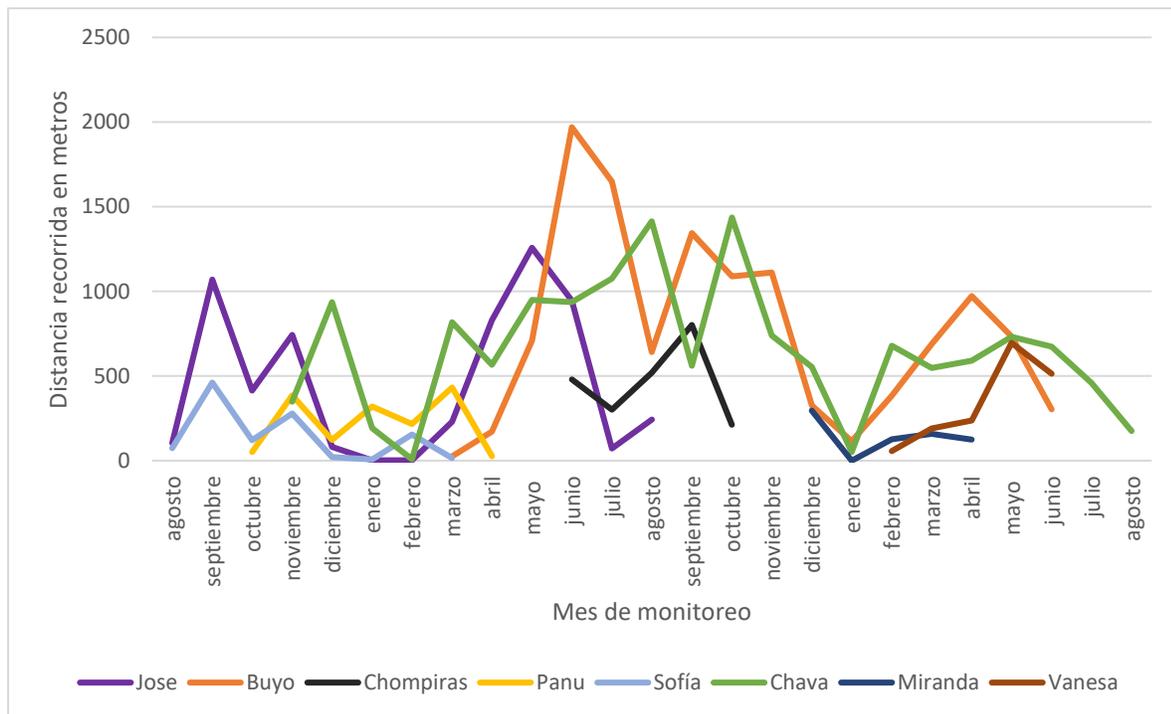


Fig. 2. Desplazamiento mensual de los individuos de *Crotaeus atrox* residentes y translocadas monitoreados en la RBBM.

La direccionalidad de los movimientos entre ubicaciones consecutivas mostró, tanto para ejemplares residentes como translocados, que los cambios en la dirección de sus movimientos fueron al azar, de tal modo que no se encuentran orientados hacia ningún sitio (Cuadro 3; Fig. 3).

Cuadro 3. Resultados de la prueba de Rayleigh, para la unidireccionalidad de los movimientos entre ubicaciones sucesivas; $\alpha=0.05$.

Resultados de las Prueba de Rayleigh		
Ejemplar	R	P
Sofía	0.181	0.339
Chava	0.094	0.391
Miranda	0.182	0.588
Vanesa	0.07	0.875
Jose	0.089	0.657
Buyo	0.084	0.588
Chompiras	0.099	0.08
Panuncio	0.304	0.063

Se logró tener información de cinco ejemplares adultos a los cuales se les colocó el carrete de hilo, y se observó que la distancia total (DT) fue mayor que la distancia en línea recta (DLR), siendo hasta tres veces mayor en algunos casos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Resultados del desplazamiento a corto plazo mediante el uso de carretes de hilo. Abreviaturas: LT= Longitud total de la serpiente; DLR= Distancia en línea recta; DT= Distancia total del recorrido; DM= Días de monitoreo.

Ejemplar	LT (cm)	Sexo	DLR	DT	DM
CT01	85	M	33.94	106.3	3
CT02	120	M	45.27	124.2	1
CT03	118	M	12.04	16.94	1
CT04	101.5	M	57.87	90.3	1
CT05	136.1	M	107.1	120.09	2

En cuanto la relación entre las temperaturas ambientales (T_a y T_s) y la temperatura corporal de la serpiente (T_b), se observó que para residentes y translocados la T_b presenta una correlación positiva significativa con la T_a y la T_s (Fig. 3a; b; c; d), sin embargo, se observan valores mayores de correlación entre la T_s y la T_b tanto con los residentes ($r=0.93$, $p < 0.01$) como con los translocados ($r=0.92$, $p < 0.01$) (Fig. 3c; d), mientras que los valores obtenidos de la relación entre la T_a y la T_b fueron de $r=0.8$, $p < 0.01$ tanto para residentes como para los translocados (Fig. 3a; b).

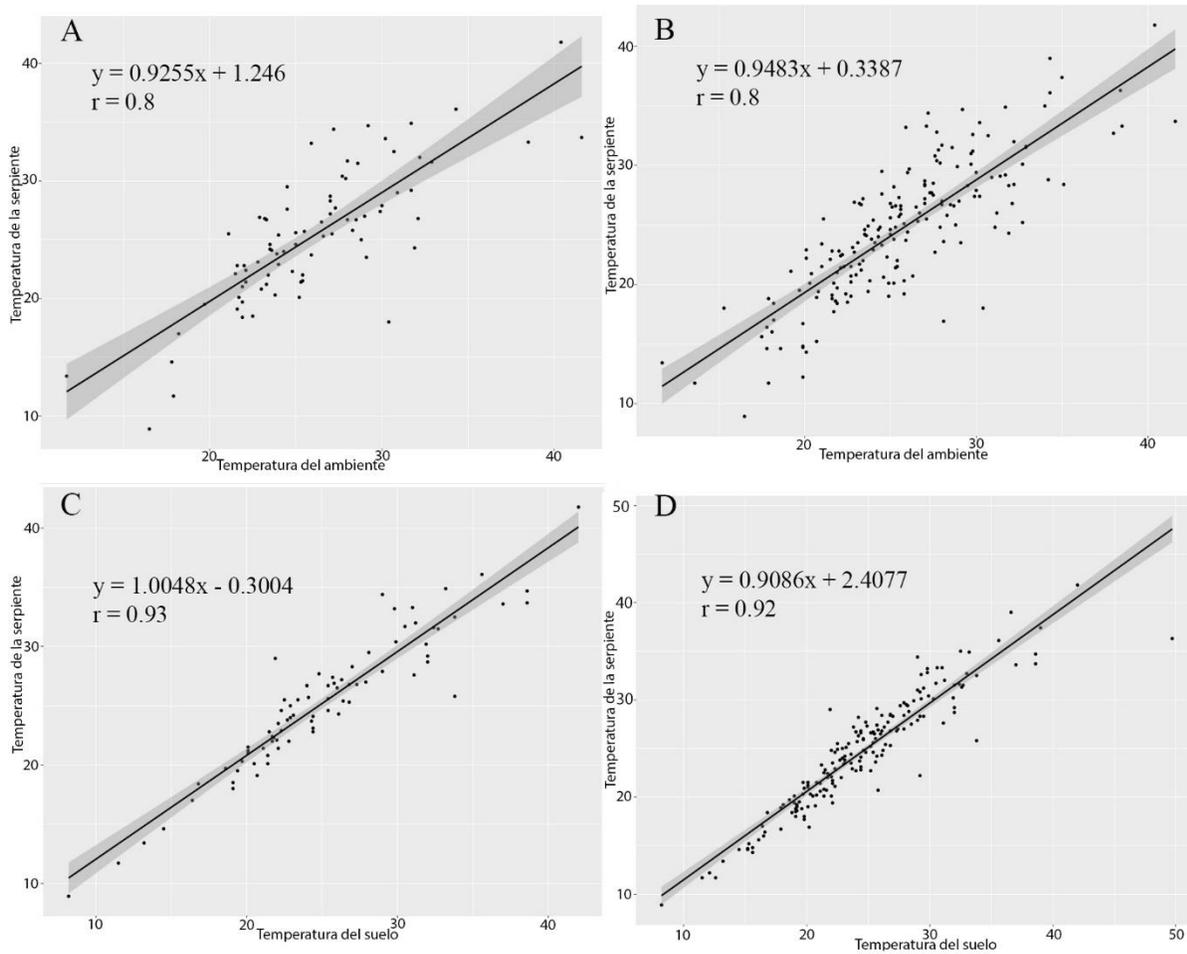


Figura 3. Correlación de las temperaturas ambientales y corporales de los ejemplares de *C. atrox* estudiados en la RBBM. A) Temperatura de la serpiente (T_b) vs temperatura ambiental (T_a), para ejemplares residentes; B) Temperatura de la serpiente (T_b) y temperatura ambiental (T_a) de ejemplares translocados; C) Temperatura de la serpiente (T_b) y temperatura del suelo (T_s) de ejemplares residentes; D) Temperatura de la serpiente (T_b) y temperatura del suelo (T_s) de ejemplares translocados.

Los datos de temperatura obtenidos considerando a todos los ejemplares juntos (residentes y translocados) durante todos los meses de monitoreo muestran valores de T_a que van de los 8.7 a los 41.6 ° C (media 25.26 +- 5.25), una T_s de 8.2 a 49.7 ° C (media 24.77+- 5.83) y una T_b de 8.9 a 41.8 ° C (media 24.5+- 5.64), pero se observa que existen diferencias significativas entre el promedio de las temperaturas en el periodo de invierno (diciembre-febrero) respecto al promedio el resto del año (mar-noviembre; Cuadro 4); T_a (invierno) y T_a (resto del año) ($t=5.9$, $g. l. 366$, $p < 0.05$), T_s (invierno)

y T_s (resto del año) ($t=2.7$, *g. l. 200*, $p < 0.05$) y T_b (invierno) y T_b (resto del año) ($t= 2.3$, *g. l. 191*, $p < 0.05$)

Cuadro 4. Relación de las temperaturas ambientales y corporales de las serpientes durante los meses más cálidos del año (marzo-noviembre) y en invierno (diciembre-febrero).

	Marzo-Noviembre			Diciembre-Febrero		
	Ta	Ts	Tb	Ta	Ts	Tb
Promedio	26.2630769	24.8528302	25.0448052	22.862963	22.1488372	22.6487179
S	4.7089029	5.73907119	5.44924342	5.71583458	5.77937104	6.06568744

Discusión

En general se observó que los ejemplares traslocados presentaron valores mayores de DT, DMD y FR que los residentes, independientemente del sexo, y se observó que, para los residentes, estos valores fueron mayores en los machos, lo cual coincide con lo observado por Nowak et al. (2002) para la misma especie, pero en Arizona. Por otro lado, algunos estudios han mencionado que las distancias que recorren las serpientes pueden deberse a las características del hábitat o la topografía del sitio estudiado, o a la distancia entre los hibernáculos y los sitios de forrajeo (Wastell y Mackessy, 2010; McInnes, 2013), así como a la duración del monitoreo. Por otro lado, la variación en estos datos está relacionada con la época del año, ya que, durante el invierno, las serpientes tienden a moverse menos (Beck, 1995). Sin embargo, en el área de estudio no se encontraron hibernáculos, debido probablemente a que la temperatura no es tan baja, como al norte de la distribución de la especie, de tal forma que las serpientes se mantienen en la misma área todo el año, y las distancias máximas que recorren están relacionadas con la búsqueda de recursos y/o pareja y no con eventos de desplazamiento entre los hibernáculos y las zonas de forrajeo.

Por otro lado, aunque se observó que existen diferencias significativas en los promedios de la temperatura invernal (dic-feb), respecto al resto del año (mar-nov), los individuos de *C. atrox* en la zona de estudio disminuyen su actividad en los meses de invierno pero no la suspenden por completo y presentaron un periodo corto de brumación, refugiándose en sitios similares a los que ocupan el resto del año, de tal modo que no utilizan hibernáculos. Lo anterior difiere a lo que ocurre en ciertas poblaciones en Estados Unidos, donde el clima es muy frío, y las serpientes ingresan en los hibernáculos a principios de septiembre u octubre y emergen hasta abril o mayo (Klauber, 1982). En este sentido, es importante resaltar que, en serpientes de cascabel de Norteamérica, una de las

principales causas de mortalidad está asociada al periodo invernal (King et al., 2004; Harvey et al., 2014), debido a que las serpientes translocadas no logran encontrar hibernáculos adecuados y son menos capaces de sobrevivir al invierno (Nowak y Ripper, 1999). Sin embargo, se ha documentado que en climas más cálidos, la necesidad de las serpientes de utilizar un hibernáculo para escapar de las condiciones de congelamiento es reducido (Dugan et al., 2008), además de que la incapacidad de encontrar un hibernáculo ideal, podría tener un efecto menor en la supervivencia, tal como ocurre en las poblaciones de *Crotalus ruber* del sur de California (Corbit, 2015), donde se observó que no existen diferencias en la supervivencia de serpientes translocadas y no translocadas y por lo tanto el autor considera a las TLD como una opción viable de mitigación del conflicto humano serpiente.

En general, los organismos translocados presentaron movimientos aleatorios, al igual que los residentes, lo cual difiere a lo observado en otros estudios, donde los individuos translocados suelen mostrar un patrón de direccionalidad mientras intentan orientarse o regresar a los sitios de recolecta (Landreth, 1973; Nowak et al., 2002; Nash y Griffiths, 2018). En nuestro caso no fue posible observar estas conductas en los ejemplares translocados, probablemente debido a que por efecto de la translocación no lograron orientarse con relación al sitio donde fueron capturadas y por lo tanto no podían seguir una ruta clara en dirección a ese sitio como se ha observado en otros estudios, en los que los ejemplares muestran movimientos unidireccionales durante los meses inmediatos a la liberación (Nowak et al., 2002), o bien como en el caso de *Python molurus*, en los cuales se determinó que poseen un sistema de navegación y orientación que le permite mantener un rumbo preciso de regreso al lugar de captura hasta por 256 días (Pittman et al., 2014).

La amplitud del intervalo de temperaturas corporales detectadas en *C. atrox*, permite considerarla una especie euritérmica, lo cual se ha observado en otras especies del género como *C. cerastes* (Moore, 1978), *C. catalinensis* (Arnaud et al., 2018) y *C. ruber* (Murillo, 2009; Pañeda-Ramírez, 2019). Asimismo, la correlación positiva observada entre la temperatura corporal y la del ambiente, también se ha observado en *C. catalinensis* (Arnaud et al., 2018), *C. lepidus*, *C. morulus* y *C. pricei* (Bryson et al., 2008) e indica que *C. atrox* es una especie termoconformista (Angilletta, 2009). Finalmente, debido a que la correlación de la temperatura corporal fue más fuerte con la temperatura del sustrato que con la del aire, se considera que es una especie que tiende a la tigmotermia (Garric, 2008; Velásquez et al., 2011), es decir que obtiene calor a partir del sustrato calentado por el sol.

Capítulo II

Considerando los resultados obtenidos en este trabajo, que no mostraron efectos tan negativos a la translocación, podemos sugerir la translocación a larga distancia como una medida viable dentro de la RBBM para el manejo del conflicto humano-serpiente con *Crotalus atrox*. Esto se debe a las condiciones climáticas de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (RBBM), la presencia de una brigada comunitaria de rescate y conservación de serpientes en la zona (CONANP, 2019), así como otros puntos sugeridos por Massei et al. (2010) previos a la translocación, como la disponibilidad de áreas adecuadas para la liberación o que los costos de esta actividad sean aceptables.

Literatura citada

- Anguilletta, M. J. Jr. 2009. Thermal Adaptation. A theoretical and empirical synthesis. Oxford University Press. New York.
- Arnaud, G., S. Sandoval, J. G. Escobar-Flores, V. M. Gomez-Muñoz y J. L. Burguete. 2018. Ecología térmica en la serpiente de cascabel *Crotalus catalinensis* en la Isla Santa Catalina, Golfo de California. Acta Universitaria 28: 39-46.
- Batchelet, E. 1981. Circular statistics in biology. Academic Press, London.
- Beck, D. D. 1995. Ecology and energetics of three sympatric rattlesnake species in the Sonoran Desert. Journal of Herpetology 29: 211-223.
- Clark, R. W., G. W. Scutt, R. A. Repp, M. Amarello, C. F. Smith y H. W. Hermann. 2014. Mating systems, reproductive success and sexual selection in secretive species: A case study of the Western Diamond-Backed Rattlesnake, *Crotalus atrox*. PlosOne 9: 1-12.
- CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2019. Brigada de rescate y conservación de serpientes en Barranca de Metztitlán. Disponible en <https://www.gob.mx/conanp/articulos/brigada-de-rescate-y-conservacion-de-serpientes-en-barranca-de-metztitlan#:~:text=El%20objetivo%20de%20esta%20brigada,estos%20animales%20en%20la%20RBBM>. Consultado el 11 de enero de 2020.
- Corbit, A. G. 2015. The dynamics of human and Rattlesnake conflict in Southern California. Ph. D. Thesis. Loma Linda University. California, USA.
- Dugan, E. A., A. Figueroa y W. K. Hayes. 2008. Home range size, movements, and mating phenology of sympatric Red Diamond (*Crotalus ruber*) and Southern Pacific (*C. oreganus helleri*) Rattlesnakes in southern California. Pp. 353-364. En: Hayes, W.K., K.R. Beamen, M. D. Cardwell y S. P. Bush (eds.). The Biology of Rattlesnakes. Loma Linda University
- Durbian, F. E., R. S. King, T. Crabill, H. Lambert-Doherty y R. A. Seigel. 2008. Massasauga home range patterns in Midwest. Journal of Wildlife Management 72: 754-759.

Capítulo II

Foster, M. S. 2012. Standard Techniques for Inventory and Monitoring. 205-271 Pp. En: Reptile Biodiversity: Standard Methods for Inventory and Monitoring. R. W. McDiarmid, M. S. Foster, C. Guyer, J. W. Gibbons y N. Chernoff (eds.). The Regents of the University of California.

Garric, D. 2008. Body Surface temperature and length in relation to the thermal biology of lizards. *BioscienceHorizons* 2: 136-142.

Gibbons, J. W., y R. D. Semlitsch. 1987. Activity patterns. 386-421. En: Sigel, R. A., J. T. Collins y S. S. Novak (eds.). *Snakes: Ecology and Evolutionary Biology*. Blackburn, New Jersey, USA.

Gregory, P. T., J. M. Macartney y K. W. Larsen. 1987. Spatial patterns and movements. Pp 366-396. En: Sigel, R. A., J. T. Collins y S. S. Novak (eds.). *Snakes: Ecology and Evolutionary Biology*. Blackburn, New Jersey, USA.

Hardy, D. L., y H. W. Greene. 1999. Surgery on rattlesnake in the field for implantation of transmitters. *Sonoran Herpetologist* 12: 25-27.

Harvey, D. S., A. M. Lentini, K. Cedar y P. J. Weatherhead. 2014. Moving Massasaugas: Insight into Rattlesnake relocation using *Sistrurus c. catenatus*. *Herpetological Conservation Biology* 9: 67-75.

King, R., C. Berg y B. Hay. 2004. A repatriation study of the eastern Massasauga (*Sistrurus catenatus catenatus*) in Wisconsin. *Herpetologica* 60: 420-429.

Klauber, 1982. *Rattlesnakes, their habits, life histories and influence on mankind*. University California Press, Berkley and Los Angeles, California, USA.

Landreth, H. F. 1973. Orientation and behavior of the rattlesnake, *Crotalus atrox*, *Copeia* 1973: 26-31.

McInnes, T. L. 2013. Habitat preference of the Western Diamond-backed Rattlesnakes (*Crotalus atrox*) at Bosque del Apache National Wild Refuge, New Mexico: An analysis at multiple scales. Master of Science Thesis. The University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico.

Moore, R. G. 1987. Seasonal and daily activity patterns and termoregulation in the Southwestern Specked Rattlesnake (*Crotalus mitchellii Pyrrhus*) and the Colorado Desert Sidewinder (*Crotalus cerastes laterorepens*). *Copeia* 3:439-442.

Capítulo II

Murillo, Q. R. 2009. Uso de hábitat de la víbora de cascabel (*Crotalus ruber*) en un matorral xerófilo de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis (Maestría). México. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste.

Nash, D. J., y R. A. Griffiths. 2018. Ranging behaviour of adders (*Vipera berus*) translocated from a development site. *Herpetological Journal* 28: 155-159.

Nowak, E.M., y C. V. Ripper, III. 1999. Effects and effectiveness of rattlesnake relocation at Montezuma Castle National Monument. Technical Report USGS Forest and Rangeland Ecosystem Science Center.

Nowak, E. M., T. Here y J. T. McNally. 2002. Management of “nuisance” effects of translocation on Western Diamond-backed Rattlesnakes (*Crotalus atrox*). En: G. W. Schuett et al. (Eds.). *Biology of the Vipers*. Eagle Mountain Publishing, LC. Pp. 533-560.

Pañeda-Ramírez, E. 2019. Ecología térmica de la serpiente de cascabel *Crotalus ruber lucasensis*. Tesis (Maestría). México. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste.

Pittman, S. E., K. M. Hart, M. S. Cherkiss, R. W. Snow, I. Fujisake, B. J. Smith, F. J. Mazzotti y M. E. Dorcas. 2014. Homing of invasive Burmese pythons in South Florida: evidence for map and compass senses in snakes. *Biology letters* 10: 1-4.

Reinert, H. K. 1992. Radiotelemetric field studies of pitvipers: data acquisition and analysis. 185-198 pp. En: Campbell, J. A. (ed.). *The biology of Pitvipers*.

Reinert, H. K., y D. Cundall. 1982. An improved surgical implantation method for radio-tracking snakes. *Copeia* 3: 702-705.

Rubio, M. 1998. Rattlesnakes. Portrait of a predator. Smithsonian Institution Press. Washington and London.

Seigel, R. A., y M. A. Pilgrim. 2002. Long-term changes in movement patterns of Massasaugas (*Sistrurus catenatus*). Pp. 405-512. En: Shuett, G. W., M. Höggren, M. E. Douglas y H. W. Greene (eds.). *Biology of the vipers*. Eagle Mountain Publishing, Eagle Mountain, Utah, USA.

Tozetti, A. M., y M. Martins. 2012. Daily and seasonal activity patterns of free range South-American rattlesnake (*Crotalus durissus*). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 85: 1047-1052.

Capítulo II

Velásquez, J., L. A. González y A. Prieto-Arcas. 2011. Ecología térmica y patrón de actividad del lagarto *Anolis onca* (Squamata: Polychrotidae) en la Península de Araya, Venezuela. Saber, Universidad de Oriente, Venezuela 23: 5-12.

Wasrell, A. R., y S. P. Mackessy. 2011. Spatial ecology and factors influencing movement patterns of Desert Massasauga Rattlesnakes (*Sistrurus catenatus edwardsii*) in Southeastern Colorado. Copeia 2011: 29-37.

Capítulo III:

La educación ambiental como estrategia para la mitigación del conflicto humano-serpiente y la conservación de las serpientes.

Introducción

Las serpientes en general son percibidas por las personas como animales potencialmente peligrosos (Brown et al., 2008; Pitts et al., 2017), y el temor y la aversión que las personas han desarrollado hacia ellas, ocasiona que en la mayoría de los casos éstas sean sacrificadas intencionalmente. Este miedo en muchas ocasiones está justificado, sobre todo cuando se trata de una serpiente venenosa, cuyo veneno es capaz de ocasionar lesiones muy graves o incluso la muerte de personas o animales, aunque en otras, es producto de los mitos, las falsas creencias y la percepción negativa que existe hacia estos animales (Fernández-Badillo et al., 2021). En este sentido, el sacrificio intencional de serpientes, sean o no venenosas, es un factor que pone en riesgo las poblaciones de estos organismos y es una de las acciones negativas de los humanos hacia las serpientes (Fernández-Badillo et al., 2021) que propicia el conflicto.

Por lo anterior, resulta necesario desarrollar acciones para desmitificar a estos organismos y concientizar a los pobladores acerca de su importancia en los ecosistemas y de los beneficios que brindan a las personas. Es por ello, que se ha sugerido a la educación ambiental como una estrategia necesaria para lograr la mitigación del conflicto humano-serpiente (Sullivan et al. 2014; Fernández-Badillo et al., 2021). La educación ambiental es un eje estratégico de la Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México y Plan de Acción 2016-2030 (CONABIO, 2016) y se encuentra integrada en el componente "Cultura para la conservación" del Programa de Acción para la Conservación de las Serpientes de Cascabel del género *Crotalus* (SEMARNAT, 2018). También en otros países como Colombia, se ha considerado como una estrategia para la conservación de serpientes (Lynch et al. (2014).

La educación ambiental puede incrementar el conocimiento sobre la biología de las serpientes de cascabel, contribuyendo a la prevención de accidentes (Lynch & Angarita-Sierra, 2016; Ávila-Villegas, 2017; Fernández-Badillo et al., 2021) y la impartición de cursos y talleres puede contribuir para cambiar la percepción de las personas hacia las serpientes y difundir información respecto a su biología e importancia, y para la prevención y atención de accidentes (Fernández-Badillo et al., 2021). Además, se ha observado que las actividades interactivas en las que las personas tienen contacto directo con los animales, son una herramienta importante en el aprendizaje y la formación de actitudes positivas

(Kellert, 1985), y a partir de ello, se pueden revertir los miedos (Ballouard et al., 2012; 2013), convirtiendo el miedo y la ignorancia, en conocimiento y admiración (Greene y Campbell, 1982; Morris, 2017).

En el presente capítulo se analiza la percepción y la respuesta de los pobladores ante las serpientes y los accidentes ofídicos en distintas comunidades del estado de Hidalgo, se implementa una estrategia de educación ambiental y se analiza si se obtiene un cambio en la percepción de los pobladores hacia las serpientes, a partir de las pláticas impartidas en distintas comunidades. Finalmente se analiza la efectividad de la implementación del programa de educación ambiental y del rescate de serpientes en tres áreas naturales protegidas de Hidalgo (Parque Nacional El Chico, Parque Nacional Los Mármoles y Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán).

Objetivos

Objetivo general

Implementar y evaluar un programa de educación ambiental como medida de mitigación del conflicto humano-serpiente en Hidalgo.

Objetivos particulares

- Analizar la percepción de pobladores del estado de Hidalgo hacia las serpientes.
- Analizar si existe un cambio en la percepción de los pobladores hacia las serpientes, al desarrollar actividades de educación ambiental.
- Conformar brigadas comunitarias de rescate de serpientes en tres áreas naturales protegidas de Hidalgo.

Materiales y métodos

Para evaluar la percepción de las personas, se aplicó el cuestionario 1, el cual se elaboró con base las propuestas de otros autores (Whhitaker y Shine, 2000; Nonga y Haruna, 2015; Angarita, 2017; Marshall et al. 2018) y se adecuó a los objetivos del trabajo y la zona de estudio (Anexo 1). Los cuestionarios se estructuraron con 10 preguntas en total, cuatro de ellas cerradas, con elementos politómicos gráficos (Domínguez-Lara, 2013; Hernández-

Capítulo III

Samperio, 2014), en escalas de intensidad donde las opciones fueron: 1 Nada, 2 Poco, 3 Regular, 4 Mucho y 5 Bastante. Además, contenía seis preguntas abiertas. Las preguntas cerradas se concentraron en conocer aspectos sobre el nivel de agrado, miedo, maldad e importancia que las personas le atribuyen de las serpientes, y las preguntas abiertas se enfocaron en conocer el porqué de las respuestas anteriores y en conocer otros aspectos sobre el conocimiento que las personas tienen acerca de las serpientes.

Para analizar el cambio de percepción de las personas a partir de las actividades de educación ambiental (AEA), se programaron talleres y pláticas en las que se brindó información acerca de la biología, ecología, importancia de las serpientes, reconocimiento de especies inofensivas y venenosas, primeros auxilios en caso de accidente ofídico e información de las especies de la zona. Además, se mostraron ejemplares vivos y se permitió a los asistentes que tocaran a los ejemplares inofensivos y observaran a una distancia segura a ejemplares venenosos. Todos los organismos vivos utilizados para las pláticas forman parte de la colección del Herpetario X-Plora Reptilia. Previo a la actividad se aplicó el cuestionario 1 y posterior a ello, se aplicó el cuestionario 2, el cual contenía en general las mismas preguntas que el cuestionario 1 (Anexos 1a y 1b, respectivamente) para poder comparar las respuestas de las mismas personas antes y después de las AEA.

Para los datos de las preguntas cerradas, en las que se utilizaron escalas de intensidad con valores del 1 al 5, se comprobó la normalidad de los datos de las respuestas obtenidas, mediante la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y para analizar si existían diferencias significativas en la percepción de las personas hacia las serpientes, antes y después de la aplicación de las AEA, se aplicó una prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas (Daniel, 2017). Las respuestas de las preguntas abiertas de los cuestionarios 1 y 2 fueron sintetizadas y agrupadas en temas principales para poder simplificar y analizar la información.

Para la formación de brigadas comunitarias de rescate y conservación de serpientes en tres ANP de Hidalgo, Parque Nacional El Chico (PNCH), Parque Nacional Los Mármoles (PNLM) y Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (RBBM), se gestionaron recursos a partir del programa de PROCODES (Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible) de la CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), para la

Capítulo III

impartición de cursos de educación ambiental enfocados en la capacitación de pobladores para el rescate y conservación de serpientes. Los cursos tuvieron una duración aproximada de 36 horas, en los cuales se desarrollaron tanto sesiones teóricas, como prácticas (Cuadro 1). Para cada ANP, se diseñó un logotipo particular en el que se incluyó a una especie de serpiente de cascabel emblemática de cada sitio.

Cuadro 1. Temas desarrollados durante los cursos de capacitación para la formación de brigadas comunitarias de rescate de serpientes.

Tema	Tipo de sesión
Características e importancia de las serpientes	Teoría
Diversidad de serpientes en el ANP	Teoría
Reconocimiento de especies venenosas e inofensivas del ANP	Teoría
Primeros auxilios en caso de accidente ofídico	Teoría
Veneno y antiveneno	Teoría
Manejo seguro	Teoría
Manejo seguro	Práctica
Primeros auxilios en caso de accidente ofídico	Práctica
Recorrido en campo	Práctica
Consideraciones en el rescate de serpientes	
Identificación de especies	Práctica
Simulacro de accidente ofídico	Práctica

Para llevar un registro de las especies avistadas y rescatadas por los pobladores de cada brigada, se crearon grupos de WhatsApp para cada ANP, en los cuales los pobladores enviaron fotografías y los siguientes datos de los individuos avistados: Nombre común o científico del ejemplar, fecha, hora, localidad de captura o avistamiento, coordenadas geográficas, fecha de liberación o reubicación, coordenadas del sitio de liberación. Se recopiló también la siguiente información: 1) número de observaciones = ejemplares observados que no fueron capturados, ni reubicados; 2) número de rescates = ejemplares que se capturaron y liberaron en otro sitio; 3) número de sacrificios= ejemplares que fueron sacrificados por pobladores locales y encontrados por los brigadistas; 4) número de

ejemplares atropellados = número de organismos que se encontraron atropellados por parte de la brigada comunitaria. Finalmente, para analizar con mejor detalle los resultados de los rescates de serpientes por las brigadas comunitarias, se desarrolló un evento de intercambio de experiencias, financiado por la CONANP a partir del programa de PROCODES.

Resultados

Percepción de las personas previo a las actividades de educación ambiental (AEA)

Se aplicó el cuestionario 1 a un total de 168 personas en Hidalgo (88 mujeres, 88 hombres y dos personas que no indicaron su sexo), pertenecientes a 11 municipios. Del total de personas encuestadas (168) se obtuvo información de 83 de ellas, respecto al gusto o desagrado hacia las serpientes, y el 50.6 % indicó que no les gustan nada, 15.6 % regular, 14.4 % mucho, 10.8 % poco y únicamente el 8.4 % indicó que les gustan bastante (Fig. 1). Estos pobladores externaron diversas razones para su gusto o desagrado hacia las serpientes, pero el 50.6 % mencionó que no les gustan por miedo o porque son venenosas y sólo el 15.6 % mencionó específicamente que sí les gustan debido a su importancia ecológica, médica o comercial.



Figura 1. Nivel de agrado hacia las serpientes en hombres y mujeres de diferentes localidades en Hidalgo, México, antes de las actividades de educación ambiental.

Respecto al nivel de temor que los pobladores tienen hacia las serpientes, 167 personas del total de encuestados, cerca del 50% indicó que les tienen bastante o mucho miedo (Fig.

2). La mayoría de las personas (73.2 %) externó que su miedo a las serpientes se debe a los riesgos que representan debido a su veneno, y sólo el 0.59 % (1 persona) mencionó que su miedo se debe a que fue mordido por una serpiente venenosa.



Figura 2. Nivel de miedo hacia las serpientes en pobladores del estado de Hidalgo antes de realizar actividades de educación ambiental.

En cuanto al reconocimiento de especies, el 48.8 % identifica como venenosas a la serpiente de cascabel y el coralillo, el 26.1 % a la serpiente de cascabel, el 14.8 % a la serpiente de cascabel, el coralillo y a otras especies, el 2.9 % solo a los coralillos y solo el 0.5 % (una persona) mencionó como venenosa a una especie inofensiva, el hocico de puerco (probablemente *Ficimia hardyi*).

En general el 63 % mencionan que acudirían al hospital en busca de antivenenos, en caso de una mordedura de serpiente, en tanto un 19 % practicaría remedios caseros como torniquetes, cortes, succión del veneno, entre otros. El 7.1% de los entrevistados no sabría qué hacer, y el resto tomaría otras acciones como conservar la calma, identificar a la serpiente, o entraría en pánico.

Resulta interesante que, pese al temor o el desgrado que existe hacia las serpientes, el 40.4 % de los encuestados considera muy importante conservar a las serpientes, en tanto sólo un 8.3 % no lo cree importante (Fig. 3). Por otro lado, el 54.1 % considera que las serpientes son malas y 44.6 % no las considera malas (Fig. 4). La razón principal del porqué los pobladores consideran malas a las serpientes, radica en la presencia de veneno (47 %),

aunque el 19.7 % opina que sólo se defienden si las molestas, y el 12.5 % opina que no son malas y que son importantes para el ecosistema. Otros pobladores (7.2 %) reconocen que no todas son venenosas y el 3.6 % menciona que no son malas. El resto de los pobladores (9.5 %) no emitió respuesta o mencionó algunas otras cosas poco relevantes.

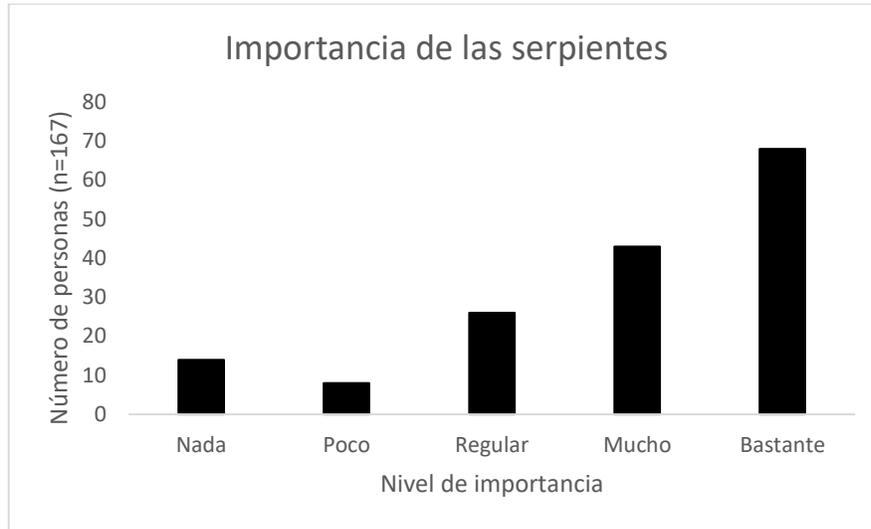


Figura 3. Nivel de importancia de las serpientes por pobladores del estado de Hidalgo antes de realizar actividades de educación ambiental.

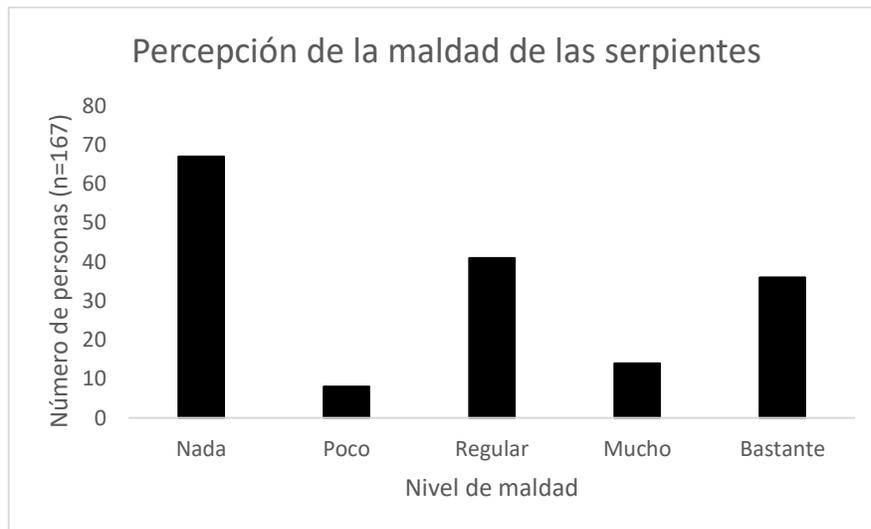


Figura 4. Percepción de la maldad de las serpientes por pobladores del estado de Hidalgo antes de realizar actividades de educación ambiental.

Por otro lado, el 38.9 % de los pobladores entrevistados menciona que, al encontrarse con una serpiente, prefiere alejarse, el 17.9 % la dejan ir, el 13.1 % procura no molestarlas, el 8.9

% las sacrifica, y el resto se reparte en otras categorías, una de ellas abarca el 5.3 % y corresponde a personas que prefieren protegerlas y reubicarlas cuando es necesario.

Cambio en la percepción a partir de las actividades de educación ambiental (AEA).

Se evaluó el cambio en la percepción hacia las serpientes a 65 pobladores (32 hombres y 33 mujeres), que respondieron los cuestionarios antes y después de las pláticas de educación ambiental. Se observó que el nivel de miedo hacia las serpientes disminuyó significativamente ($W=780$, $p < 0.05$; Cuadro 2) después de haber escuchado las AEA, lo cual se observa con mayor énfasis en las categorías de nada y bastante (Fig. 5). El hecho de que las serpientes sean venenosas, es la razón principal del miedo hacia las serpientes, pero después de las AEA, se observa una disminución en el número de personas que indicaron esa respuesta (Fig. 6).



Figura 5. Comparación del nivel de miedo hacia las serpientes antes y después de las AEA en Hidalgo.

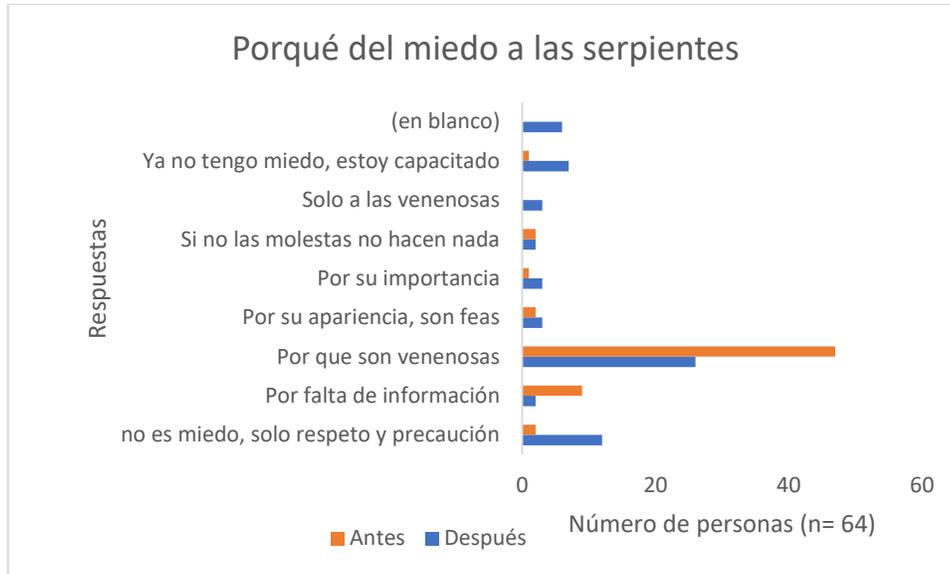


Figura 6. Comparación de porqué las personas tienen miedo a las serpientes antes y después de las AEA en Hidalgo.

Cuadro 2. Comparación de los resultados (prueba de Wilcoxon) antes y después de aplicar las AEA. Las abreviaturas corresponden a IQR= Intervalo intercuartílico; W= valor de la prueba de Wilcoxon; P= Valor de significancia.

Variable	Antes de la AEA			Después de la AEA			Prueba de Wilcoxon	
	Mediana	Intervalo	IQR	Mediana	Intervalo	IQR	W	P
Nivel de miedo hacia las serpientes	4	1-5	3-5	2	1-5	1-4	780	<0.05
Importancia de las serpientes	5	1-5	4-5	5	1-5	4-5	210.5	<0.05
Nivel de maldad de las serpientes	3	1-5	1-5	1	1-5	1-3	459	<0.05

Para la pregunta acerca de qué tan importante consideran proteger o conservar a las serpientes (n=61; 34 mujeres, 37 hombres), se observaron diferencias significativas antes y después de las AEA, (W= 210.5, P=<0.05; Cuadro 2). Después de las AEA, un mayor número de personas indicó que es bastante importante protegerlas (15 antes, 21 después; Fig. 7), y el 93.3 % (56 personas) indicaron que es importante protegerlas debido a su importancia biológica y en la fabricación de medicamentos.

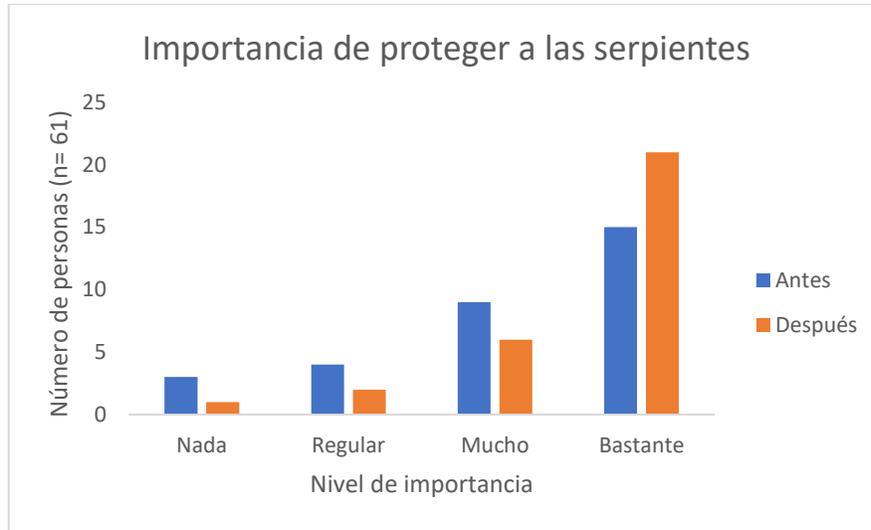


Figura 7. Comparación de la importancia de proteger a las serpientes antes y después de las AEA en Hidalgo.

En cuanto a si las personas perciben a las serpientes como malas, se obtuvieron respuestas de 64 personas (33 mujeres, 31 hombres), y se observó que también la percepción de la maldad de las serpientes disminuyó después de las AEA, lo que se vió reflejando en la categoría de nada, que pasó de 27 personas antes de las AEA a 36 después y en la categoría de bastante (20 personas antes, siete después; Fig. 8). La prueba de Wilcoxon mostró que existen diferencias significativas antes y después de las AEA ($W=459$, $p<0.05$; Cuadro 2).

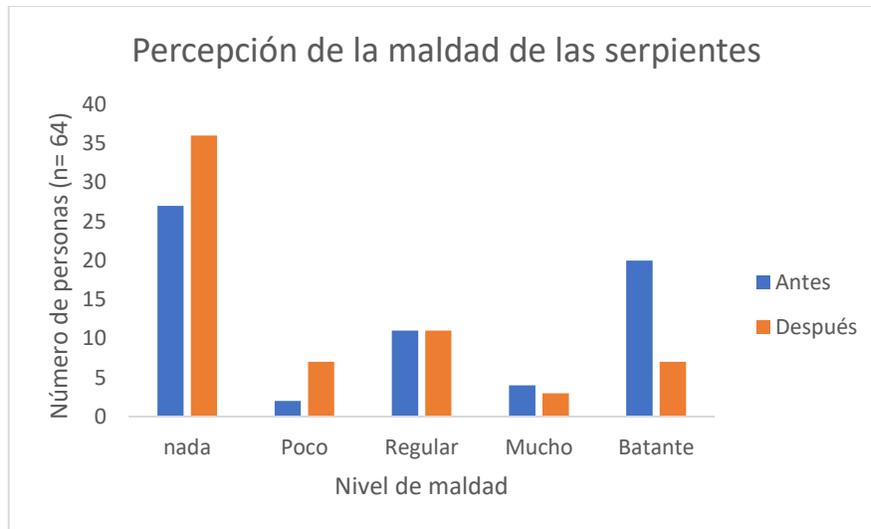


Figura 8. Comparación de la percepción de maldad de las serpientes antes y después de las AEA en Hidalgo.

Antes de las AEA, en general las personas consideraron malas a las serpientes, debido a que son venenosas, sin embargo, después de las AEA, algunos pobladores indicaron que no todas las especies son venenosas, y consideran que no son malas debido a su importancia ecológica y médica, y un mayor número de personas reconoce que las serpientes sólo se defienden si las molestan (Fig. 9).

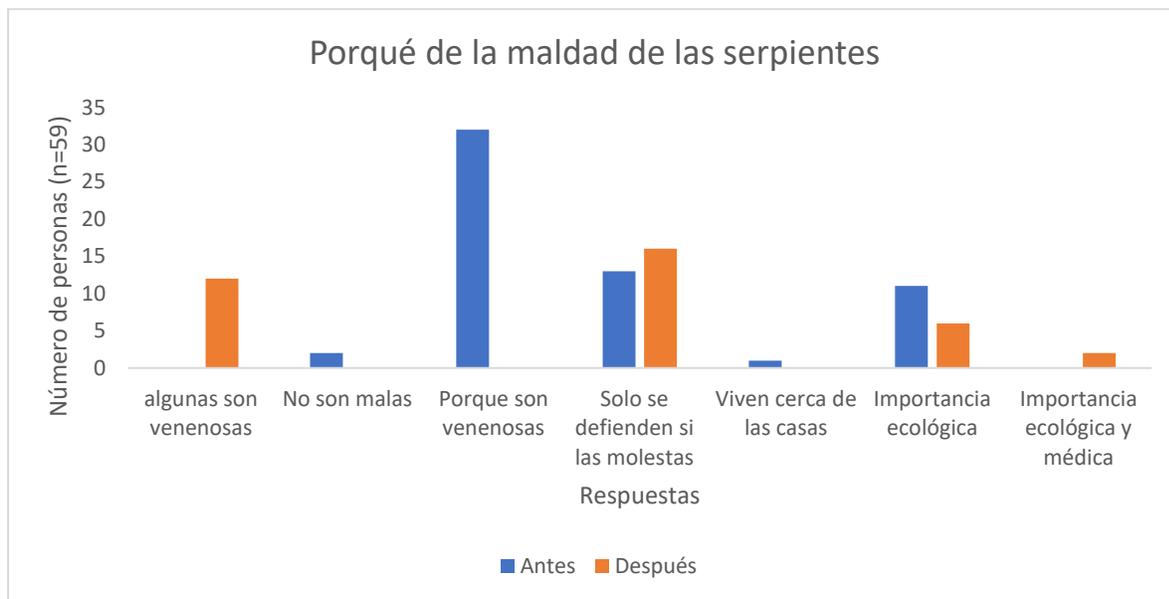


Figura 9. Comparación de porqué las personas consideran malas a las serpientes antes y después de las AEA en Hidalgo.

También, se compararon antes y después de las AEA, las acciones que las personas tomarían en caso de una mordedura de serpiente (Fig. 10), y se observó que antes de las AEA, la mayoría de las personas (38) acudiría a un servicio de salud en busca de los antivenenos, pero varias personas indicaron que aplicarían cortes u otros remedios, o bien no sabrían cómo actuar. Por el contrario, después de las AEA, la mayoría de las personas (54) indicaron que aplicarían los primeros auxilios específicos para un accidente ofídico y acudirían a un hospital.

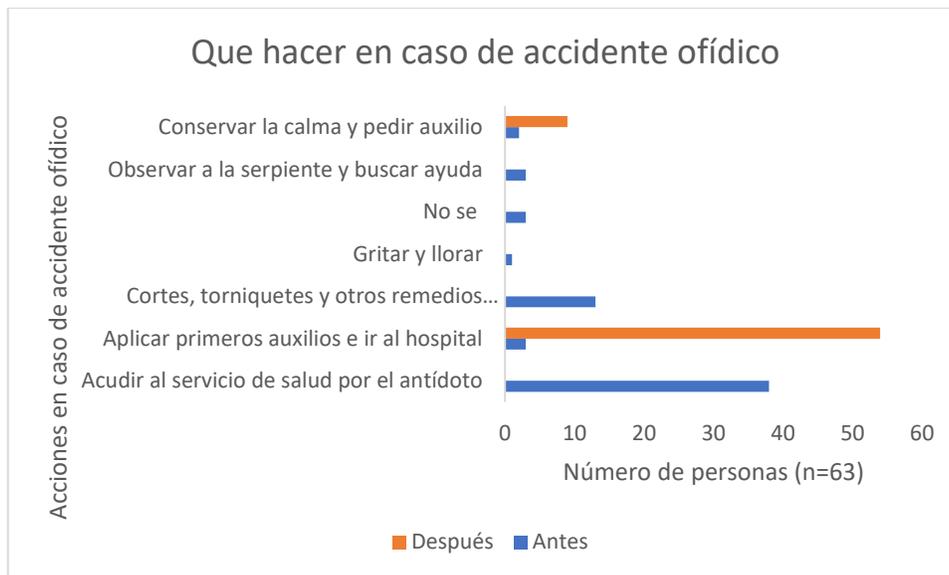


Figura 10. Comparación de las acciones en caso de un accidente ofídico antes y después de las AEA.

Brigadas comunitarias de rescate de serpientes

Finalmente, en el 2019 y 2020, se formaron tres brigadas comunitarias de rescate de serpientes en tres ANP (PNCH, PNLM y RBBM, Fig. 10). Cada brigada cuenta con distinto número de pobladores y ha continuado hasta la fecha con las actividades de observación y rescate de ejemplares.



Figura 10. Logos y fotografías de cada una de las brigadas comunitarias de rescate de serpientes de tres ANP de Hidalgo. A) PNCH, B) PNLM y C) RBBM.

Capítulo III

Hasta septiembre del 2022, las brigadas comunitarias en conjunto han obtenido un total de 242 registros, siendo la brigada más activa en cuanto a observaciones de ejemplares en vida silvestre es la del PNLM con 60 observaciones, la que cuenta con el mayor número de rescates es la RBBM con 74 y la que tiene menores resultados tanto en observaciones como en rescates es el PNCH (Cuadro 3).

Cuadro 3. Relación de los resultados y datos informativos de cada brigada. Abreviaturas: Obs= Observaciones; Res= Rescates; Sac= Sacrificadas; Ea= Ejemplares atropellados; Total Ind= Total de individuos.

Brigada	Fecha de creación	Integrantes	Obs	Res	Sac	Ea	Total Ind
PNCH	Dic-19	16	2	7	2	1	12
PNLM	Oct-20	19	60	30	16	2	108
RBBM	Ago-Sept 2019	23	25	74	15	8	122
Total		58	87	111	33	11	242

Con respecto a la riqueza y abundancia de las especies registradas, las brigadas en conjunto han registrado 32 especies y 242 individuos. De manera independiente se observa que la brigada que ha registrado los mayores resultados es la RBBM con 24 especies y 120 individuos, seguida del PNLM con 22 especies y 107 individuos, en tanto en el PNCH se registraron únicamente seis especies y 11 individuos (Cuadro 4). Con base en estos resultados, es posible notar que para el caso de la RBBM y el PNCH, el número de rescates fue mayor que el número de observaciones, sacrificios y ejemplares atropellados y para el PNLM, se observa un mayor número de observaciones respecto al resto de las categorías (Fig. 11).

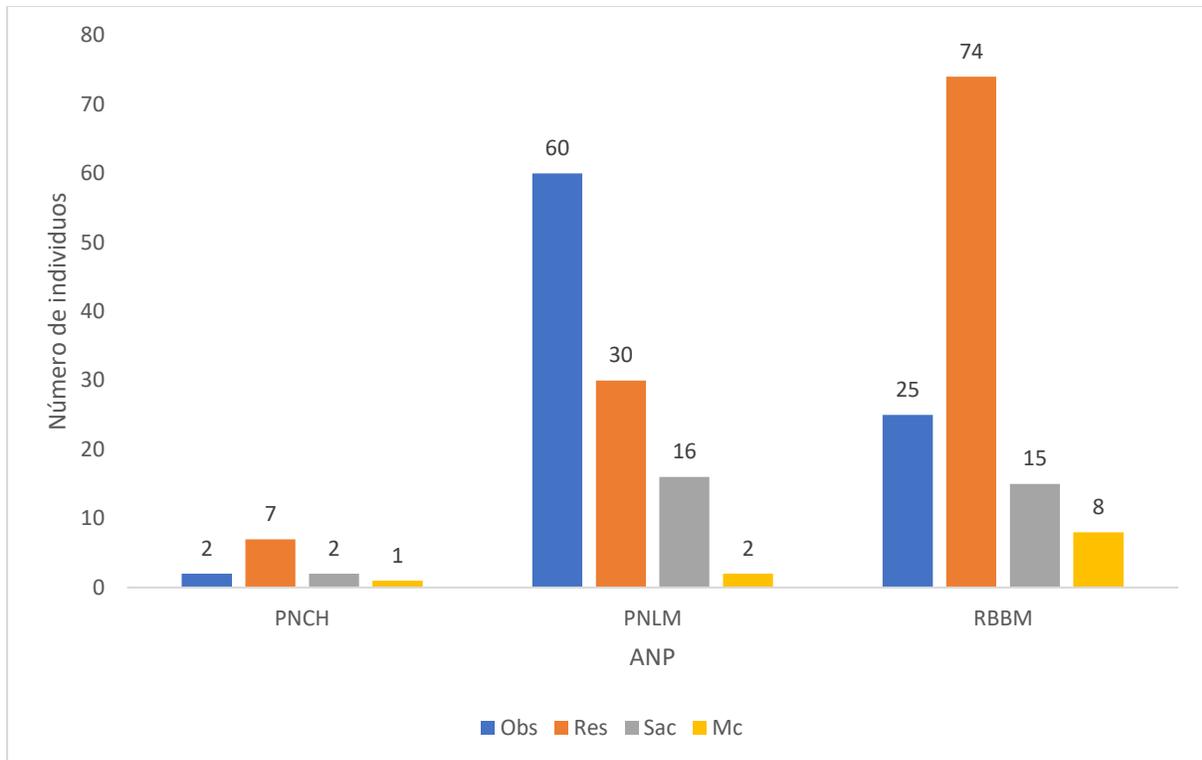


Figura 11. Relación de los resultados y datos informativos de cada brigada. Abreviaturas: Obs.= Observaciones; Res= Rescates; Sac= Sacrificadas; Ea= Ejemplares atropellados; Total Ind= Total de individuos. A) PNCH, B) PNLM y C) RBBM.

Capítulo III

Cuadro 4. Listado taxonómico de especies registradas por las brigadas comunitarias de rescate y conservación de serpientes. Abreviaturas: Obs= Observaciones; Res= Rescates; Sac= Sacrificadas; Ea= Ejemplares atropellados.

Categoría taxonómica	PNCH					PNLM					RBBM					Total general
	Obs	Res	Sac	MC	Total	Obs	Res	Sac	MC	Total	Obs	Res	Sac	MC	Total	
Boidae																
<i>Boa imperator</i>						3	2			5	1	5	1		7	12
Colubridae																
<i>Coluber constrictor</i>						1	1	2		4						4
<i>Conopsis lineata</i>		1			1						1				1	2
<i>Drymarchon melanurus</i>							1		1	2		3			3	5
<i>Ficimia hardyi</i>											1				1	1
<i>Geophis latifrontalis</i>						1	2			3	1				1	4
<i>Geophis sartorii</i>												1	1		2	2
<i>Hypsiglena tanzeri</i>						1	1	1		3		4			4	7
<i>Lampropeltis annulata</i>											2	5	1		8	8
<i>Masticophis schotti</i>						3		1		4		1			1	5
<i>Oxybelis potosinensis</i>						1	2	1		4	4	1			5	9
<i>Pituophis deppei</i>				1	1			1		1	4	7	2		13	15
<i>Salvadora bairdi</i>		1	1		2									1	1	3
<i>Salvadora grahamiae</i>						2				2						2
<i>Senticolis triaspis</i>						7	2	1		10		9	1	2	12	22
<i>Tantilla bocourti</i>											2	3	1		6	6
<i>Tantilla rubra</i>						1				1						
<i>Trimorphodon tau</i>						2	2	1		5	1	5			6	11
Dipsadidae																
<i>Amastridium sapperi</i>						1				1						1
<i>Diadophis punctatus</i>		1			1							1			1	2
<i>Leptodeira septentrionalis</i>		1			1	4	2	2		8	2	4		1	7	16
<i>Rhadinaea gaigeae</i>						5	2			7						7
Elapidae																
<i>Micrurus tener</i>						2	1	1		4		3	1		4	8
Leptotyphlopidae																
<i>Leptotyphlops dulcis</i>						3	1			4	1	1			2	6
Natricidae																
<i>Storeria hidalgoensis</i>						2	3			5						5
<i>Thamnophis cyrtopsis</i>						2				2	1	2			3	5
<i>Thamnophis eques</i>											2				2	2
Viperidae																
<i>Crotalus aquilus</i>	2	3	1		6	5	3			8		3	1		4	18
<i>Crotalus atrox</i>											1	13	5	4	23	23
<i>Crotalus molossus</i>						9	2	3	1	15	1	3	1		5	20
<i>Crotalus totonacus</i>						5	3	2		10						10
Total	2	7	2	1	12	60	30	16	2	108	25	74	15	8	122	242

Otros resultados importantes con relación al trabajo de las brigadas comunitarias de rescate y conservación de serpientes, han sido la obtención de nuevos registros de serpientes para dos ANP, algunos de los cuales ya se han publicado y otros están en proceso. Estos registros corresponden a *Amastridium sapperi* para el PNLM (Fig. 12A), y *Diadophis punctatus* y *Thamnophis eques* para la RBBM (Fig. 12B y C, respectivamente).



Figura 12. Fotografías de las especies de serpientes que representan nuevos registros para las ANP estudiadas. A= *Amastridium sapperi*, PNLM, foto Antonio Melo Melo; B= *Diadophis punctatus*, RBBM, foto Miguel Yáñez Lechuga; D= *Thamnophis eques*, RBBM, foto Miguel Yáñez Lechuga.

Discusión

Percepción de las personas previo a las actividades de educación ambiental (AEA)

La percepción de los pobladores entrevistados hacia las serpientes muestra que, en general, existe un gran desagrado y temor hacia ellas, lo cual se ha observado en otros trabajos (Pandey et al., 2016). Estas actitudes se deben a que la mayoría de las personas percibe a las serpientes como un peligro para ellos, para sus hijos o para los animales domésticos (Whitaker y Shine, 2000; Pandey et al., 2016), y están influenciadas por los mitos asociados a ellas y por el limitado conocimiento acerca de su importancia ecológica y otros beneficios (Alves et al., 2018; Liordos et al., 2018; Eid et al., 2021), lo que conlleva al sacrificio intencional de serpientes en varias partes del mundo (Fernández-Badillo et al., 2021).

Algo muy importante es que la mayoría de los pobladores reconoce adecuadamente a las especies venenosas locales, lo cual se ha observado también en otras zonas (Corbett et al., 2005), sin embargo, también se ha encontrado que las personas les temen a las serpientes independientemente de si son o no venenosas (Pandey et al., 2016; Babalola et al., 2020).

Pese al temor que existe hacia las serpientes, cerca de la mitad de las personas encuestadas consideró importante conservarlas, esta tendencia en pro de la conservación, pese a las actitudes negativas hacia las serpientes, fue observada también por Liordos et al. (2018) en pobladores de Grecia. Por otro lado, cerca de la mitad de los pobladores consideraron “malas” a las serpientes, probablemente por las ideas religiosas o simplemente como ellos lo mencionan, porque al tener veneno son animales dañinos para el ser humano. En este sentido, se ha observado, que esta perspectiva negativa de los organismos, influenciada por el miedo, los mitos, las ideas religiosas, aspectos culturales como el folclor, incluso, la estética, afectan directamente a la conservación de los reptiles (Ceríaco, 2012).

Resulta interesante que un porcentaje bajo de las personas entrevistadas (8.9 %), mencionó que al encontrar una serpiente la sacrifica, contrario a lo que se ha observado en otros estudios, en los que el porcentaje de personas que sacrifican intencionalmente a las serpientes es de entre el 30, 38 y hasta el 48 % (Whitaker y Shine, 2000; Pandey et al., 2016;

Eid et al., 2021). Lo anterior, posiblemente pueda deberse a que los pobladores, al vivir dentro de un ANP y gracias a las acciones de difusión realizadas por parte del personal de la CONANP, han ido adquiriendo un mayor respeto por la fauna silvestre, o bien, por temor a ser reprendidos o remitidos con las autoridades, no fueron del todo honestos en sus respuestas, ya que por comentarios aislados o a partir de pláticas en confianza con los pobladores, es común escuchar historias de distintos pobladores que mencionan haber sacrificado o escuchado de otros que sacrificaron a los ejemplares.

El hecho de que cerca del 40% de los pobladores encuestados haya mencionado que al encontrar a los ejemplares prefiere alejarse sin hacerle nada, es un resultado muy alentador en términos de la conservación de este grupo de organismos.

Cambio en la percepción a partir de las actividades de educación ambiental (AEA).

En este trabajo se observó un cambio de percepción de las personas antes y después de la aplicación de las AEA, debido a que existió un cambio positivo en la percepción de las personas, disminuyendo su miedo y la perspectiva de que son animales malos, además de que se incrementó el porcentaje de personas que consideran importante conservar a las serpientes. Estos resultados concuerdan con lo obtenido por Williams et al. (2021), quienes mencionan que, incluso los programas educativos modestos que involucran la impartición de una presentación o plática, pueden reducir las percepciones negativas hacia la fauna silvestre culturalmente estigmatizada.

Aunado a lo anterior, se ha demostrado, que las actividades de educación ambiental diseñadas específicamente para un público en particular y a partir de un modelo de educación experimental, producen un cambio positivo en las actitudes, la percepción del riesgo y la convivencia de las personas hacia las especies que provocan miedo o conflicto (Sporanski et al., 2016).

Otro aspecto importante de las AEA implementadas en el presente trabajo, fue el contacto directo con serpientes. En este sentido, se ha observado que la combinación de pláticas bien dirigidas con información objetiva y con el contacto directo de ejemplares, propicia cambios importantes en las actitudes y conocimientos de las personas hacia las serpientes y favorece a su conservación (Morgan y Gramann, 1989; Gangloff, 2011; Tzuc-Salinas et al., 2020).

Brigadas comunitarias de rescate de serpientes

El trabajo con las brigadas de rescate y conservación de serpientes mostró que el desarrollo de un programa de educación más amplio y con un mayor seguimiento, propició cambios significativos en la actitud de las personas hacia las serpientes y en su forma de relacionarse con ellas. El hecho de decidir rescatarlas en vez de sacrificarlas, es un cambio sumamente significativo. Por otro lado, el poder incentivar emocionalmente a los miembros de las brigadas, permitió que experimentaran distintas emociones positivas, como orgullo, felicidad, asombro y reconocimiento ante sus acciones por parte del resto de los integrantes de la brigada, como del equipo a cargo del proyecto y del personal de las distintas ANP y de la CONANP (CONANP, 2019), les confiere un sentido de pertenencia y les permite reconocer la importancia de sus acciones.

Asimismo, el hecho de contar con niños dentro de las brigadas o bien de que los miembros de la brigada involucren también a su familia y amigos en estas actividades, hace que el éxito del programa sea mayor. En este sentido se ha observado que los niños pueden dar forma a las normas sociales de los adultos (Marchini and Macdonald, 2020). Los resultados obtenidos de las brigadas de rescate de serpientes en el estado de Hidalgo, demuestran que las medidas sugeridas en otros trabajos (SEMARNAT, 2018; OMS, 2019; Fernández-Badillo et al., 2021), respecto al empoderamiento y capacitación de las comunidades, son una estrategia sumamente exitosa para la resolución del conflicto humano-serpiente, el manejo y prevención del accidente ofídico y la conservación de las serpientes.

Conclusiones

En general las personas encuestadas tienen una perspectiva negativa de las serpientes debido al temor de que puedan ser venenosas, sin embargo, los pobladores reconocen su importancia y son conscientes de la necesidad de conservar a estos organismos.

Se encontraron diferencias significativas entre la percepción de las personas antes y después de las AEA, y se observó que la implementación de actividades de educación ambiental tuvo efectos positivos en el cambio de percepción de las personas hacia las serpientes, reduciendo el miedo y la percepción de maldad. Además, se incrementó el número de personas que consideraron importante conservar a las serpientes, así como el conocimiento de qué hacer en caso de accidente ofídico.

La implementación y evaluación de actividades de educación ambiental, en las que además de brindar información acerca de la biología, ecología e importancia de las serpientes, así como de las medidas en caso de accidente ofídico, se acompañen de la muestra y manejo seguro de serpientes vivas, tienen un éxito mayor en el mejoramiento de las actitudes hacia las serpientes y en el incremento de conocimiento de los pobladores.

La conformación de brigadas comunitarias de rescate y conservación de serpientes son una alternativa sumamente exitosa en la resolución del conflicto humano-serpiente, la prevención del accidente ofídico y la conservación de las serpientes.

Literatura citada

Alves, R. R. N., V. N. Silva, D. M. B. M. Trovão, J. V. Oliveira, J. S. Mourão, T. L. Dias, A. G. C. Alves, R. F. P. Lucena, R. R. D. Barboza, P. F. G. P. Montenegro, W. L. S. Vieira y W. M. S. Souto. 2014. Students' attitudes toward and knowledge about snakes in the semiarid region of northeastern Brazil. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 10: 1-8.

Angarita-Sierra, T. G. 2017. Demographic analysis of snake killing as a conservation threat: study case for a population of *Ninia atrata*. Tesis de Doctorado en Ciencias. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. 182 p.

Ávila-Villegas, H. 2017. Serpiente de cascabel. Entre el peligro y la conservación. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 165 P.

Babalola, O. J., H. O. Jegede y B. N. Ogunro. 2020. Perceptions, attitudes, and outcomes of human-snake encounters: A retrospective study of an online discussion community in Nigeria. *Asian Journal of Ethnobiology*, 3: 1-9.

Ballouard, J. M., Provost, G., Barré, D. & Bonnet, X., 2012. Influence of a field trip on the attitude of schoolchildren toward unpopular organism: an experience with snakes. *Journal of Herpetology*, 46: 423-428.

Ballouard, J.M., Ajtic, R., Balint, H., Brito, J. C., Crnobrnja-Isailovic, J., Desmots, D., ElMouden, E. H., Erdogan, M., Feriche, M., Pleguezuelos, J. M., Prokop, P., Sánchez, A., Santos, X., Slimani, T., Tomovic, L., Usak, M., Zuffi, M. & Bonnet, X., 2013. Schoolchildren and one of the most unpopular animals: are they ready to protect snakes? *Anthrozoös*, 26: 93-109.

Brown, J. R., C. A. Bishop y R. J. Brooks. 2009. Effectiveness of short-distance translocations and its effects on western Rattlesnakes. *Journal of Wildlife Management*, 73: 419-425.

Ceríaco, L. M. P. 2012. Human attitudes towards herpetofauna: The influence of folklore and negative values on the conservation of amphibians and reptiles in Portugal. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 8: 1-12.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2016. Estrategia nacional sobre biodiversidad de México (ENBIOMEX) y plan de acción 2016-2030. CONABIO, México. 383 p.

Capítulo III

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2019. Brigada de rescate y conservación de serpientes en Barranca de Metztitlán. Disponible en <https://www.gob.mx/conanp/articulos/brigada-de-rescate-y-conservacion-de-serpientes-en-barranca-de-metztitlan#:~:text=El%20objetivo%20de%20esta%20brigada,estos%20animales%20en%20la%20RBBM>. Consultado el 11 de enero de 2020.

Corbett, S. W., B. Anderson, B. Nelson, S. Bush, W. K. Hayes y M. D. Cardwell. 2005. Most lay people can correctly identify indigenous venomous snakes. *The American Journal of Emergency Medicine*, 23: 759-762.

Daniel, W. W. 2017. Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud. Editorial Limusa, México. 753 p.

Domínguez-Lara, S. A. 2013. ¿Ítems Politémicos o Dicotómicos? Un estudio empírico con una escala unidimensional. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento*, 5: 30-37.

Eid, E., M. A. Awaji, H. Nasarat y A. Alhiyasai. 2021. A perceptions and knowledge towards snakes: a study from Jordan. *Herpetological Conservation and Biology*, 16: 345-354.

Fernández-Badillo, L., I. Zuria, J. Sigala-Rodríguez, G. Sánchez-Rojas y G. Castañeda-Gaytán. 2021. Revisión del conflicto entre los seres humanos y las serpientes en México: origen, mitigación y perspectivas. *Animal Biodiversity and Conservation*, 44.2: 153-174.

Gangloff, E. 2011. Urban students and urban snakes: The effects of hands-on learning in student perception of snakes. *Herpetological Review*, 42: 349-351.

Greene, H. W. y J. Campbell. 1992. The future of pitvipers. In: *Biology of the Pitvipers*: 421-427 [J. Campbell y E. Brodie]. Selva, Tayler, Texas.

Hernández-Samperi, R. 2014. Metodología de la investigación. Sexta edición. McGraw Hill. México

Kellert, S. 1985. Attitudes toward animals: age-related development among children. *Journal of Environmental Education*, 16: 29-39.

Capítulo III

Liordos, V., V. J. Kotsiotis, S. Kokoris y M. Pimenidou. 2018. The two faces of Janus, or the dual mode of public attitudes toward snakes. *Science of the Total Environment*, 621: 670-678.

Lynch, J. D. 2011. Crisis biológicas por pérdida masiva de serpientes. *Un Periódico* 250:14-15.

Lynch, J. D. 2012. El contexto de las serpientes de Colombia con un análisis de las amenazas en contra de su conservación. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 36: 435-449.

Lynch, J. D., T. Angarita y F. J. Ruiz-Gómez. 2014. Programa nacional para la conservación de las serpientes presentes en Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia/Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales/Instituto Nacional de Salud. Colombia. 127 p.

Marchindi, S., y D. W. Macdonald. 2020. Can school children influence adults' behavior toward jaguars? Evidence of intergenerational learning in education for conservation. *Ambio*, 49: 912-925.

Marshall, B. M., C. T. Strine, M. D. Jones, A. Theodorou, E. Amber, S. Waengsothorn, P. Suwanwaree y M. Goode. Hits close to home: Repeated persecution of King Cobras (*Ophiophagus hannah*) in northeastern Thailand. *Tropical Conservation Science*, 11:1-14.

Morgan, J. M., y J. H. Gramann. 1989. Predicting effectiveness of wildlife education programs: A study of student's attitudes and knowledge toward snakes. *Wildlife Society Bulletin*, 17: 501-509.

Morris, M. C. 2017. Rattlesnakes in the Classroom: A Research-based model for educational outreach programs. In: *The Biology of Rattlesnakes II*: 54-64 [M. J., Dreslik, W.K. Hayes, S.J. Baupre & S.P. Mackesy]. ECO Herpetological Publishing and Distribution, Rodeo, New Mexico, USA.

Nonga, H. G., y A. Haruna. 2015. Assessment of the human-snake interaction and its outcomes in Mounduli District, northern Tanzania. *Tanzania Journal of Health Research* 17: 1-12.

Capítulo III

Pandey, D. P., G. S. Pandey, K. Devkota y M. Goode. 2016. Public perceptions of snakes and snakebite management: implications for conservation and human health in southern Nepal. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 2016: 12-22.

Pitts, S. L., B. D. Hughes e I. Mali. 2017. Rattlesnake nuisance removals and urban expansion in Phoenix, Arizona. *Western North American Naturalist*, 77: 309-316.

SEMARNAT. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2018. Programa de acción para la conservación de las especies. Serpientes de Cascabel (*Crotalus spp.*). SEMARNAT/CONANP, México. 146 p.

Sporansky, C. C., J. J. Vaske, A. J. Bath y T. A. Loeffler. 2016. Changing attitudes and emotions toward coyotes with experimental education. *The Journal of Environmental Education*, 0: 1-11.

Sullivan, B. K., E. M. Nowak y M. A. Kwiatowski. 2014. Problems with mitigation translocation of herpetofauna. *Conservation Biology*, 29: 12-18.

Tzuc-Salinas, A. J., R. Cedeño-Vázquez, F. Gual-Sill, D. O. Molina-Rosales. 2020. Perceptions and attitudes of visitors at the Jardín Zoológico Payo Obispo and their influence on the conservation of native wildlife. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 36: 1-16.

Williams, S. T., K. S. Williams, N. Constant, L. Swanepoel, P. J. Taylor, S. R. Belman y S. W. Evans. 2021. Low-intensity environmental education can enhance perceptions of culturally taboo wildlife. *Ecosphere*, 12: 1-17.

Whitaker, P. B., y R. Shine. 2000. Sources of mortality of large elapid snakes in an agricultural landscape. *Journal of Herpetology*, 34: 121-128.

Discusión general

El conflicto humano-serpiente en México es un tema complejo y presenta diversos factores que dificultan el desarrollo de estrategias aplicables a todo el país. Uno de los problemas principales tiene que ver con el accidente ofídico, y es que, en primera instancia, el panorama epidemiológico es distinto en los diferentes estados de la República Mexicana, ya que hay estados en los que se registran menos de 20 mordeduras al año, como en Aguascalientes y Baja California Sur y otros que superan los 400 casos, como en Oaxaca o Veracruz (Neri-Castro et al., 2020). Asimismo, la mortalidad es mayor en los estados del sureste del país, en comparación con los del centro y norte, lo cual puede deberse a múltiples factores, como, por ejemplo, diferencias en la calidad de la atención del accidente ofídico, creencias que favorecen el acudir con curanderos locales, o por la especie de mayor abundancia y el tipo veneno (Neri-Castro et al., 2020). Aunado a lo anterior, es necesario mejorar los registros epidemiológicos para incluir datos de la especie involucrada, grado del envenenamiento, número de viales de antiveneno utilizados y secuelas del envenenamiento (Neri-Castro et al., 2020), ya que como mencionan estos autores, sin información correcta y adecuada, no se pueden mejorar los antivenenos ni el tratamiento.

Por otro lado, en general, estos accidentes se producen en personas de bajos recursos, por lo que es prioritario regular el problema de los altos precios de los antivenenos (Gil-Alarcón et al., 2011). Además, se debe asegurar la distribución y disponibilidad de antivenenos sobre todo en zonas de alta incidencia de mordeduras, puesto que en zonas rurales o comunidades muy alejadas no se tiene acceso a ellos (Fernández-Badillo et al., 2021). Es necesario también modificar la normatividad en México para poder seguir utilizando los antivenenos caducos, ya que su efectividad no disminuye aún después de 20 años de su caducidad (Sánchez et al., 2019).

Asimismo, es necesario trabajar en los ejes estratégicos sugeridos por la OMS (2019), enfocados en disminuir para el 2030 la mitad del número de defunciones por mordedura de serpiente. Estos objetivos incluyen mejorar el acceso a tratamientos seguros y eficaces, empoderar e involucrar a las comunidades, fortalecer los sistemas de salud y promover la colaboración mundial y la obtención de recursos.

Discusión y conclusiones generales

Otro aspecto importante consiste en trabajar con los aspectos culturales, religiosos y de percepción hacia las serpientes, los cuales en muchos casos originan o incrementan el miedo hacia estos organismos y propician que las personas sacrifiquen a las serpientes intencionalmente (Fernández-Badillo et al., 2021), aun cuando estas no sean venenosas, o cuando nunca haya habido una persona fallecida a causa de una mordedura de serpiente venenosa. Esto sugiere que las personas tienen un miedo exagerado por lo que imaginan o creen que podría pasar, y no por lo que en realidad pasa.

Por lo anterior, y a partir de los resultados obtenidos en el presente estudio, se proponen algunas estrategias para mitigar el conflicto humano-serpiente; una de ellas es la translocación a larga distancia de ejemplares nocivos, la cual aunque en otros estudios ha tenido efectos negativos (Reinert y Ruppert, 1999; Nowak et al., 2002; Devan-Song, 2014; Devan-Song et al., 2016; Sullivan et al., 2014), para el caso particular de *Crotalus atrox* en la RBMM, puede resultar una medida viable, considerando que los efectos sobre el ámbito hogareño, desplazamiento, actividad y uso de hábitat de los ejemplares, no fueron tan negativos, o parecieran no representar un riesgo grave para la salud de las serpientes.

Translocar ejemplares de *C. atrox* en la RBMM, encontrados en zonas urbanas o zonas de cultivo, reduce el riesgo de un accidente ofídico, evita que el ejemplar sea sacrificado y brinda una oportunidad a la serpiente de prosperar en otro sitio.

De acuerdo con Sullivan et al. (2014), las translocaciones como medida de mitigación, requieren de tomar en cuenta aspectos como la ecología, comportamiento, sociabilidad y requerimientos de hábitat, para asegurar la supervivencia y persistencia de los ejemplares translocados. En este sentido, contar con información acerca del uso y selección del hábitat de las serpientes, permite a los investigadores conocer cuáles son los componentes del hábitat más utilizados (Reinert, 1993), así como aquellos que contribuyen al éxito reproductivo y la supervivencia (Block y Brennan, 1993). Esto permite conocer además aspectos sobre la hibernación (Olson et al., 2015), los patrones de movimiento y actividad, tanto diarios, como a través de las distintas estaciones del año (Nowak et al., 2002), entre otros aspectos. Contar con la información anterior, permite no sólo entender cómo utilizan su hábitat, sino también seleccionar las áreas más adecuadas para poder translocar a las serpientes nocivas.

Discusión y conclusiones generales

A partir de los resultados obtenidos en este estudio, se sugiere que las translocaciones de los ejemplares nocivos, se realicen en zonas alejadas de los asentamientos humanos, en áreas de preferencia con bastante cobertura de rocas y en las que haya abundancia de nidos de *Neotoma*. A diferencia de lo observado en otros estudios (Nowak y Ripper, 1999; King et al., 2004; Harvey et al., 2014), la época de translocación no presenta un riesgo para los ejemplares, debido a que en la RBBM el periodo invernal no presenta temperaturas tan bajas como para afectar la supervivencia de los ejemplares, además, se observó que los ejemplares no utilizan hibernáculos y se mantienen activos aún en los meses más fríos de año (diciembre, enero y febrero).

En este sentido, Dugan et al. (2008), mencionan que, en climas más cálidos, la necesidad de las serpientes de utilizar un hibernáculo para escapar de las condiciones de congelamiento es reducido; por lo tanto, es posible que, en otras zonas de México, la supervivencia de los ejemplares translocados no se vea afectada por el periodo invernal. Contrario a lo que ocurre en latitudes y elevaciones altas, donde las serpientes de cascabel, pasan más de la mitad del año bajo tierra en los hibernáculos, los cuales las protegen de riesgos mortales como la depredación y el congelamiento durante el periodo invernal (Hamilton y Nowak, 2009).

Es necesario destacar que, para poder tener mejores resultados con relación a la ecología espacial de las serpientes y los efectos de la translocación, se requiere de un mayor tiempo de monitoreo y de un mayor número de ejemplares, sin embargo, este es un aspecto difícil de cumplir con serpientes, debido a sus hábitos esquivos y a lo difícil que resulta su avistamiento en campo. Además, existen otros aspectos que no pudieron ser evaluados en el presente estudio, y que contribuirían a entender mejor la ecología espacial de *Crotalus atrox* en la RBBM, y poder establecer mejores estrategias para la translocación, por ejemplo, analizar ámbitos hogareños, patrones de movimiento y actividad entre ejemplares residentes y translocados, pero juveniles y crías, así como conocer estos mismos aspectos, pero en las zonas de cultivo de nogal. Contar con más ejemplares y realizar monitoreos durante más tiempo, permitiría también observar si el ámbito hogareño y los patrones de movimiento son variables en el tiempo o si los ejemplares translocados, en algún momento comienzan a estabilizarse y parecerse más los residentes.

Discusión y conclusiones generales

La educación ambiental es otra de las alternativas que se ha sugerido para mitigar el conflicto humano-serpiente (Sullivan et al., 2014; Fernández-Badillo et al., 2021), y en el presente trabajo se logró observar que la impartición de pláticas en las comunidades rurales, acompañadas de la interacción y contacto directo con ejemplares de serpientes del área de estudio, permite generar un cambio positivo en la percepción de las personas hacia las serpientes, disminuyendo el temor hacia ellas y promoviendo actitudes enfocadas a su conservación. Además, estas pláticas brindan conocimientos útiles para que los pobladores sepan cómo actuar en caso de un accidente ofídico.

La conformación de brigadas comunitarias de rescate de serpientes dentro de ANP, resultó ser una estrategia sumamente efectiva en la mitigación del conflicto humano-serpiente, ya que, a partir de la capacitación y empoderamiento ciudadano, es posible disminuir el número de sacrificios intencionales de serpientes, pues en la mayoría de los casos los pobladores que se encuentran con una serpiente, sólo tienen dos opciones, sacrificarla o dejarla ir. En la mayoría de los casos, deciden tomar la primera opción, de tal modo que las brigadas comunitarias proporcionan otra alternativa, que es el rescate del ejemplar, lo cual también le brinda otra oportunidad a la serpiente. Además, el trabajo de las brigadas invita a otros a participar y poco a poco más personas van sumándose a esta iniciativa. En total se cuenta con 58 personas en las tres brigadas comunitarias, quienes comentan que por lo menos, cada persona ha logrado que otras diez participen y se involucren, de tal modo que mínimo se cuenta con aproximadamente 580 personas realizando acciones en pro de la conservación de las serpientes dentro de las ANP de Hidalgo.

Conclusiones generales

De las distintas estrategias empleadas en otros países para mitigar el conflicto humano-serpiente, las más viables para su aplicación en el territorio mexicano son la educación ambiental, la prevención y gestión del accidente ofídico, las acciones de manejo y aprovechamiento sustentable y la translocación, aunque para esta última hacen falta muchos estudios para asegurar su eficacia y medir sus efectos.

Particularmente para el caso de la serpiente *Crotalus atrox* en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, la translocación a larga distancia resulta una medida viable para mitigar el conflicto humano-serpiente.

La educación ambiental es una herramienta muy útil para promover el cambio en la percepción de las personas hacia las serpientes, sobre todo cuando se permite a los pobladores interactuar de modo seguro con ejemplares vivos de la zona de estudio.

La capacitación ciudadana es una estrategia que permite brindar conocimientos y capacidades para que los pobladores puedan responder adecuadamente ante el encuentro con una serpiente y/o en el caso de una mordedura.

La formación de brigadas comunitarias de rescate y conservación de serpientes dentro de áreas naturales protegidas, es una medida muy efectiva en la mitigación del conflicto humano-serpiente, así como en la generación de conocimiento y la conservación de estos vertebrados.

Literatura citada

Block, W. M., y L. A. Brennan. 1993. The hábitat concept in ornithology. Theory and applications. En: D. M. Power (Ed.). Current Ornithology. Volume II. Plenum Pres, New York. Pp. 35-91.

Devan-Song, E. A. 2014. Ecology and conservation of the Bamboo Pitviper: Natural history, demography and effects of translocation. Master of Sciences Thesis. University of Rhode Island. 113 p.

Devan-Song, E. A., P. Martelli, D. Dudgeo, P. Crow, G. Ades, y N. E. Karraker. 2016. Is long-distance translocation an effective mitigation tool for White-lipped Pit Vipers (*Trimeresurus albolabris*) in south China? *Biological Conservation*, 204B: 212-220. DOI: 10.1016/j.biocon.2016.10.013.

Dugan, E. A., A. Figueroa, W. K. Hayes. 2008. Home range size, movements, and mating phenology of sympatric red diamond (*Crotalus ruber*) and southern Pacific (*C. oreganus helleri*) rattlesnakes in southern California. En: W. K. Hayes, Beaman, K. R., Cardwell, M. D., Bush, S. P. (eds.). The biology of Rattlesnakes. Loma Linda University Press, Loma Linda, California, USA. Pp 353-364.

Fernández-Badillo, L., I. Zuria, J. Sigala-Rodríguez, G. Sánchez-Rojas y G. Castañeda-Gaytán. 2021. Revisión del conflicto entre los seres humanos y las serpientes en México: origen, mitigación y perspectivas. *Animal Biodiversity and Conservation*, 44.2: 153-174.

Gil-Alarcón, G., M. C. Sánchez-Villegas y V. H. Reynoso. 2011. Tratamiento prehospitalario del accidente ofídico: revisión, actualización y problemática actual. *Gaceta Médica de México* 147:195-208.

Harvey, D. S., A. M. Lentini, K. Cedar y P. J. Weatherhead. 2014. Moving Massaugas: Insight into Rattlesnake relocation using *Sistrurus c. catenatus*. *Herpetological Conservation Biology* 9: 67-75.

Hamilton, B.T., y E. M. Nowak. 2002. The relationship between insolation and rattlesnake hibernacula. *The Southwestern Naturalist* 69: 319-328.

King, R., C. Berg y B. Hay. 2004. A repatriation study of the eastern Massasauga (*Sistrurus catenatus catenatus*) in Wisconsin. *Herpetologica* 60: 420-429.

Discusión y conclusiones generales

Neri-Castro, E., M. Benard-Valle, G. Gil, M. Borja, J. López de León y A. Alagón. 2020. Serpientes venenosas en México: Una revisión al estudio de los venenos, los antivenenos y la epidemiología. *Revista Latinoamericana de Herpetología* 03: 5-22.

Nowak, E. M., y V. C. Riper III. 1999. Effects and effectiveness of rattlesnake relocation at Montezuma Castle National Monument. U. S. Geological Survey/FRESC Report Series USGS/FRESC/COPL/1999/17.

Nowak, E. M., T. Here y J. T. McNally. 2002. Management of "nuisance" effects of translocation on Western Diamond-backed Rattlesnakes (*Crotalus atrox*). En: G. W. Schuett et al. (Eds.). *Biology of the Vipers*. Eagle Mountain Publishing, LC. Pp. 533-560.

Olson, Z. H., B. J. MacGowan, M. T. Hamilton, A. F. T. Currylow y R. N. Williams. 2015. Survival of Timber Rattlesnakes (*Crotalus horridus*): Investigating individual, environmental and ecological effects. *Herpetológica* 71: 274-279.

OMS, Organización Mundial de la Salud. 2019. Snakebite envenoming: A strategy for prevention and control. Organización Mundial de la Salud.

Reinert, H. K. 1993. Habitat selection in snakes. En: R. A. Seigel y J. T. Collins (Eds.). *Snakes ecology and Behavior* 2nd edition. The Blackburn Press, New Jersey. Pp. 201-240.

Reinert, H. K., y R. R. Rupert. 1999. Impacts of translocation on behavior and survival of timber rattlesnakes, *Crotalus horridus*. *Journal of Herpetology* 33: 45-61.

Sánchez, E. D., C. Migl, M. Suntravat, A. Rodríguez-Acosta, J. A. Galan, y E. Salazar. 2019. The neutralization efficacy of expired polyvalent antivenoms: An alternative option. *Toxicon* 168: 32-39.

Sullivan, B. K., E. M. Nowak y M. A. Kwiatowski. 2014. Problems with mitigation translocation of herpetofauna. *Conservation Biology* 29: 12-18.

Anexo 1a. Cuestionario relacionado con la percepción inicial de los pobladores hacia las serpientes.



Estudio del conflicto humano-serpiente
Cuestionario 1



Nombre: _____ Sexo: _____ Edad: _____
Comunidad: _____ Municipio: _____ Ocupación: _____
Fecha: _____

1. ¿Qué tanto te gustan las serpientes?



2. ¿Por qué? _____

3. ¿Qué tanto miedo le tienes a las serpientes?



4. ¿Por qué? _____

5. De las serpientes de la reserva ¿Cuáles son venenosas? _____

6. ¿Qué harías si te mordiera una serpiente? _____

7. ¿Qué tan importantes crees que es proteger a las serpientes?



8. ¿Qué haces cuando encuentras a una serpiente? _____

9. ¿Crees que las serpientes son malas?



10. ¿Por qué? _____

Anexo 1b. Cuestionario relacionado con el cambio de percepción de los pobladores hacia las serpientes.



Estudio del conflicto humano-serpiente
Cuestionario 2



Nombre: _____ Sexo: _____ Edad: _____
Comunidad: _____ Municipio: _____ Ocupación: _____
Fecha: _____

1. ¿Después de escuchar la plática, cambió tu gusto por las serpientes?



2. ¿Por qué? _____

3. ¿Después de escuchar la plática, qué tanto miedo le tienes a las serpientes?



4. ¿Por qué? _____

5. De las serpientes de la reserva ¿cuáles son venenosas? _____

6. ¿Qué harías si te mordiera una serpiente? _____

7. ¿Qué tan importante crees que es proteger a las serpientes?



8. ¿Por qué? _____

9. ¿Crees que las serpientes son malas?



10. ¿Por qué? _____
