



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**EVALUACION DE DISCRIMINACIÓN  
BIOQUÍMICA DE *CROTALUS ATROX* EN  
CONDICIONES DE DEPREDACIÓN Y  
COMPETENCIA.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

PRESENTA :

**VÁZQUEZ MORENO MANUEL ALEJANDRO**

**DIRECTORA DE TESIS:  
Dra. ARIAS BALDERAS SANDRA FABIOLA**

Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla de Baz, Estado de México, 2023





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIA

Querida madre:

Un día te prometí que te entregaría una carrera y al ser un hombre de palabra, aquí esta mi promesa cumplida después de tantos años de aquel día y aunque había días en los que sentía que no podía más, esa promesa me impulsaba hacia delante. Gracias.

Esta tesis es el resultado de años de esfuerzo y dedicación, y quiero dedicarla a ti con todo mi amor y gratitud. Tu apoyo inquebrantable, tu sabiduría y tu amor incondicional han sido mi fuente de inspiración a lo largo de este viaje académico.

Siempre has creído en mí, incluso en los momentos en que yo dudaba de mí mismo. Esta tesis es un tributo a tu sacrificio y perseverancia, que me han enseñado el valor del trabajo duro y la determinación. Tu presencia constante en mi vida ha sido mi mayor fortaleza, y esta dedicación es mi manera de expresar cuánto significas para mí. Gracias por ser mi luz en los días oscuros y mi mayor alegría en los días de triunfo.

Esta tesis no solo es un logro personal, sino también un homenaje a tu amor y apoyo inquebrantables. Te amo más de lo que las palabras pueden expresar, y espero que esta tesis te haga sentir tan orgullosa como yo me siento de tenerte como mi madre.



## AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Agradezco a la Dra. Sandra Fabiola Arias Balderas por haber dirigido el presente trabajo de titulación, así como por haber brindado su apoyo incondicional en todos los aspectos, por aquellos momentos que compartimos juntos y en los que confié en mí. También le agradezco el ser una persona y profesora increíble y todo lo que me enseñó a lo largo de cada clase en cada una de las materias que me impartió, así como en cada una de las largas charlas que compartimos.

Al Biol. Raúl Rivera Velázquez, le agradezco ser revisor de este trabajo y, sobre todo, su absoluto apoyo para este proyecto, así como su experiencia y atención en cada una de las veces que se trabajó con las serpientes. También le agradezco las enseñanzas académicas y de vida en cada una de las pláticas que tenía con él.

Al Mtro. Felipe Correa Sánchez, le agradezco ser revisor de este trabajo, pero, sobre todo, el conocimiento que me transmitió a lo largo de sus clases y fuera de ellas. También agradezco la enseñanza de ser una persona tranquila y pacífica, virtud que no muchos poseen.

Al Mtro. Tizoc Adrián Altamirano Álvarez, le agradezco el aceptar ser revisor del presente trabajo, así como sus acertadas opiniones y correcciones en el mismo.

A la Biol. Marisela Soriano Sarabia, le agradezco el ser revisora del presente trabajo de titulación, así como cada una de las opiniones y correcciones que tuvo hacia el presente proyecto.

Le agradezco al MVZ Eduardo Cid Méndez por sus consejos, observaciones, búsqueda de bibliografía, ayuda en algunos experimentos y spots para tomar las fotografías del presente trabajo, pero sobre todo le agradezco el conocimiento que me brindó sobre un sin fin de temas, sobre todo herpetológicos, por mostrarme que un trabajo con pasión y dedicación nunca será aburrido ni monótono y a siempre querer aprender más y no guardar el conocimiento, sino compartirlo con los demás.

Al Laboratorio de Herpetología Vivario de la FES Iztacala, le agradezco el brindarme las facilidades para trabajar con sus organismos, así como con la parte logística para este proyecto. Agradecimientos para el Dr. Víctor Hugo Jiménez Arcos, jefe del laboratorio.

## AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Quiero comenzar agradeciendo a mi madre, Rosalinda Vázquez, en este momento tan especial, quiero expresar mi profunda gratitud hacia ti por tu amor inquebrantable, apoyo incondicional y constante inspiración a lo largo de mi trayecto académico. Tu presencia en mi vida es un faro de luz que me ha guiado a lo largo de este arduo viaje. Tus palabras de aliento, paciencia infinita y sacrificio han sido pilares fundamentales que me han permitido superar los obstáculos y desafíos que se presentaron en el camino. Tu fe inquebrantable en mis capacidades me ha motivado a esforzarme más cada día y a nunca renunciar, incluso cuando las dificultades parecían insuperables. Tus abrazos y sonrisas han sido mi refugio en los momentos de estrés y agotamiento. Este logro no solo es mío, sino también tuyo. Tus sacrificios y tu amor han sido la base sobre la cual he construido mi educación y esta tesis. En cada página de este trabajo, hay un pedazo de tu amor y sabiduría. Gracias por ser mi roca, mi motivación y mi fuente inagotable de amor y apoyo. Esta tesis es un testimonio de nuestro vínculo especial y de la influencia positiva que has tenido en mi vida.

Le agradezco a mis hermanos, Leo e Iker, porque sus sonrisas, entusiasmo y amor incondicional han iluminado mis días y me han recordado constantemente la importancia de perseverar en la búsqueda del conocimiento. A pesar de su corta edad, ustedes han sido testigos de mi dedicación y esfuerzo en este proyecto, y espero que esta experiencia haya sido un ejemplo para inspirarlos a seguir sus propios sueños y metas en el futuro. Gracias por su paciencia y comprensión cuando mi tiempo estuvo ocupado con la tesis, y por brindarme momentos de distracción y risas cuando más los necesitaba, a pesar de que ustedes no lo sabían. Este logro no solo es mío, sino también de ustedes, que han sido parte integral de mi vida y mi motivación para alcanzar mis objetivos académicos. Siempre estaré agradecido por su apoyo inquebrantable y por ser una fuente constante de inspiración. Recuerden no seguir mi camino, sino forjar el suyo propio donde puedan ser felices a pesar de todo.

A la Lic. Paola Rodríguez, mi amada compañera de vida, quiero expresarle mi profunda gratitud por ser mi fuente inquebrantable de apoyo y motivación a lo largo de este arduo viaje académico. Tu amor, paciencia y comprensión han sido fundamentales en cada paso de esta tesis. Tus palabras de aliento inyectaron vida a mis momentos más oscuros, y tu presencia me inspiró a seguir adelante incluso cuando las dificultades parecían insuperables. Tú fuiste mi refugio en los días de estrés y mi razón para sonreír cuando las cargas académicas eran abrumadoras. Agradezco tus sacrificios y tu comprensión cuando nuestros planes fueron reemplazadas por largas noches de trabajo e investigación. Tu fe en mí y en mis sueños me ha impulsado a dar lo mejor de mí en cada etapa de este proyecto. Este logro no solo es mío, sino nuestro, porque cada paso que he dado en este camino ha estado marcado por tu amor y apoyo. No puedo agradecerte lo suficiente por ser mi compañera, mi confidente y mi inspiración. A tu lado, encontré la fuerza para perseverar, y hoy celebro este logro contigo a mi lado. Te amo más allá de las palabras y espero que este trabajo sea un testimonio de nuestro compromiso mutuo para alcanzar tus sueños, mis sueños y sobre todo nuestros sueños juntos.

Mi familia ha sido el pilar fundamental de mi vida, y les agradezco desde lo más profundo de mi corazón por su apoyo incondicional a todos y a cada uno de ustedes. Quiero expresar mi profunda gratitud a mi familia por su inquebrantable apoyo y amor a lo largo de mi trayectoria académica. Sin su constante aliento, comprensión y paciencia, este logro no habría sido posible.

A esos amigos que han estado desde el principio de esta aventura y aquellos que tienen poco que se subieron al barco quiero agradecer por estar conmigo en este viaje, su apoyo y amistad han sido un

rayo de luz constante. Sus palabras de ánimo, sus risas compartidas y su comprensión inquebrantable han hecho que cada día sea más llevadero. A pesar de las noches tardías y los momentos de estrés, su presencia me ha recordado la importancia de mantener un equilibrio entre el trabajo y la vida. Gracias por estar a mi lado, por escucharme cuando necesitaba desahogarme y por celebrar mis éxitos como si fueran los suyos propios. Su amistad ha sido un recordatorio constante de que la vida está llena de momentos valiosos más allá de las páginas de esta tesis. Agradezco a dos grandes amigos que conocí en la secundaria, que pase lo que pase siempre están para mí, Erick y Ariel, les doy las gracias por todos esos momentos que pase a su lado todos estos años, sepan que sus palabras y confianza me motivaron e hicieron llegar hasta donde estoy hoy. Agradezco a “El nido” por todas las risas, anécdotas, momentos alegres y tristes que pase a su lado, Nora, Paty, Charly, Luis, Dany, Bucio y Sara, muchas gracias por ser un grupo unido, pero un nido de víboras. Gracias a un buen amigo que se nos adelantó, pero en algún momento nos reuniremos todos de nuevo. Descansa en paz Biólogo Charly. Cada uno de ustedes ha contribuido a mi crecimiento personal y a mi perseverancia a lo largo de este desafío académico. Espero que podamos seguir compartiendo aventuras y triunfos en los años venideros.

# INDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES.....	ii
AGRADECIMIENTOS PERSONALES.....	iii
INDICE DE FIGURAS.....	I
INDICE DE TABLAS.....	II
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
ANTECEDENTES.....	6
OBJETIVOS.....	7
Objetivo general.....	7
Objetivos particulares.....	7
JUSTIFICACIÓN.....	7
MATERIALES Y METODOS.....	8
Experimento 1: Búsqueda Quimiosensitiva Inducida por la Mordida (BQIM).....	9
Experimento 2: Búsqueda Quimiosensitiva No Inducida por la Mordida (BQNIM).....	10
Experimento 3(a): BQIM con presencia de un posible depredador.....	10
Experimento 3(b): BQIM con presencia de un posible depredador.....	11
Experimento 4: BQIM con presencia de un posible competidor.....	12
RESULTADOS.....	14
DISCUSIÓN.....	21
CONCLUSIONES.....	23
LITERATURA CITADA.....	24

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> VÍBORA DE CASCABEL DE DIAMANTES (CROTALUS ATROX). FOTO TOMADA POR: DIONICIO J. URIEL .....	8
<b>FIGURA 2.</b> DIAGRAMA DEL MÉTODO UTILIZADO CON RASTROS DE CUATRO RATONES DIFERENTES INCLUYENDO EL RATÓN MORDIDO POR C. ATROX (ESTE FUE ELEGIDO AL AZAR, ASÍ COMO EL CAMINO A SEGUIR). CADA UNO DE LOS RASTROS TIENE LÍNEAS CON CURVAS DIFERENTES ENTRE SÍ. ....	10
<b>FIGURA 3.</b> GANCHO HERPETOLÓGICO CON UNA PEQUEÑA JAULA HECHA CON UN NIDO DE PLÁSTICO PARA CANARIOS Y UNA BASE DE POLICARBONATO.....	10
<b>FIGURA 4:</b> SERPIENTE FALSA CORAL MEXICANA (LAMPROPELTIS POLYZONA). FOTO TOMADA POR: DIONICIO J. URIEL .....	11
<b>FIGURA 5.</b> DIAGRAMA DEL MÉTODO UTILIZADO CON EL RASTRO DEL RATÓN PREVIAMENTE MORDIDO POR C. ATROX Y ATRAVESADO POR EL FROTIS DE L. POLYZONA. ....	11
<b>FIGURA 6.</b> DIAGRAMA DEL MÉTODO UTILIZADO CON EL RASTRO DEL RATÓN PREVIAMENTE IMPREGNADO DE FROTIS DE CLOACA DE L. POLYZONA Y MORDIDO POR C. ATROX. EN DONDE CADA MORDIDA SE FUE ACERCANDO MÁS EL RATÓN. ....	12
<b>FIGURA 7:</b> VÍBORA DE CASCABEL DE COLA NEGRA (CROTALUS MOLOSSUS). FOTO TOMADA POR: DIONICIO J. URIEL	12
<b>FIGURA 8.</b> DIAGRAMA DEL MÉTODO UTILIZADO CON EL RASTRO DEL RATÓN PREVIAMENTE MORDIDO POR C. MOLOSSUS Y POSTERIORMENTE POR C. ATROX.....	13
<b>FIGURA 9.</b> PROMEDIOS DE LAS PROTUSIONES LINGUALES EN CADA UNO DE LOS EXPERIMENTOS, DONDE SE APRECIA C/BQIM (CON BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA INDUCIDA POR LA MORDIDA), S/BQIM (SIN BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA INDUCIDA POR LA MORDIDA), C/BQNIM (CON BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA NO INDUCIDA POR LA MORDIDA), S/BQNIM (SIN BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA NO INDUCIDA POR LA MORDIDA), C/DEPRED (RASTRO CON DEPREDADOR) Y C/COMPET (RASTRO CON COMPETIDOR).....	17
<b>FIGURA 10.</b> PROMEDIOS DEL TIEMPO EN MINUTOS DE BÚSQUEDA EN CADA UNO DE LOS EXPERIMENTOS, DONDE SE APRECIA C/BQIM (CON BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA INDUCIDA POR LA MORDIDA), S/BQIM (SIN BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA INDUCIDA POR LA MORDIDA), C/BQNIM (CON BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA NO INDUCIDA POR LA MORDIDA), S/BQNIM (SIN BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA NO INDUCIDA POR LA MORDIDA), C/DEPRED (RASTRO CON DEPREDADOR) Y C/COMPET (RASTRO CON COMPETIDOR).....	17
<b>FIGURA 11.</b> PROMEDIOS DE LAS PROTUSIONES LINGUALES POR MINUTO DE BÚSQUEDA EN CADA UNO DE LOS EXPERIMENTOS, DONDE SE VE C/BQIM (CON BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA INDUCIDA POR LA MORDIDA), S/BQIM (SIN BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA INDUCIDA POR LA MORDIDA), C/BQNIM (CON BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA NO INDUCIDA POR LA MORDIDA), S/BQNIM (SIN BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA NO INDUCIDA POR LA MORDIDA), C/DEPRED (RASTRO CON DEPREDADOR) Y C/COMPET (RASTRO CON COMPETIDOR) .....	18

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1:</b> PROMEDIO DE PROTUSIONES LINGUALES Y TIEMPO DE BQIM (BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA INDUCIDA POR LA MORDIDA) Y SIN LA MISMA POR ORGANISMO, DONDE “*” SIGNIFICA QUE NO HUBO CONDUCTA.....	14
<b>TABLA 2:</b> PROMEDIO DE PROTUSIONES LINGUALES Y TIEMPO CON BQNIM (BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA NO INDUCIDA POR LA MORDIDA) Y SIN LA MISMA POR ORGANISMO EN DONDE “*” SIGNIFICA QUE NO HUBO ORGANISMOS CON ESA CONDUCTA. ....	15
<b>TABLA 3:</b> PROMEDIO DE PROTUSIONES LINGUALES Y TIEMPO DE BQIM (BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA INDUCIDA POR LA MORDIDA) POR ORGANISMO ANTE LA PRESENCIA DE UN FROTIS DE L. POLYZONA SOBRE EL RATÓN EN AMBAS PARTES DEL EXPERIMENTO 3 EN DONDE “*” SIGNIFICA QUE NO HUBO ORGANISMOS CON BQIM.....	16
<b>TABLA 4:</b> PROMEDIO DE PROTUSIONES LINGUALES Y TIEMPO CON BQIM POR ORGANISMO ANTE LA PRESENCIA DE C. MOLOSSUS EN DONDE “*” SIGNIFICA QUE NO HUBO ORGANISMOS CON BQIM. ....	16
<b>TABLA 5:</b> COMPORTAMIENTOS QUE SE OBSERVARON DENTRO DE LOS EXPERIMENTOS REALIZADOS Y EL PORCENTAJE DE REPETICIÓN EN CADA UNO, DONDE BQIM ES LA BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA INDUCIDA POR LA MORDIDA, MIENTRAS QUE BQNIM ES LA BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA NO INDUCIDA POR LA MORDIDA. ....	18
<b>TABLA 6:</b> COMPARACIÓN DE LOS EXPERIMENTOS FRENTE A EL NÚMERO DE PROTUSIONES LINGUALES MEDIANTE UN ESTADÍSTICO DE KRUSKAL-WALLIS, DONDE G. L. ES GRADOS DE LIBERTAD; S. C. ES SUMA DE CUADRADOS; V. P. ES VARIACIÓN PROMEDIO. ....	20
<b>TABLA 7:</b> PRUEBA DE HOLM-SIDAK POR EXPERIMENTO COMPARANDO PL vs TB Y PL vs PLPM, DONDE SE MUESTRA LA DIFERENCIA DE MEDIAS, “T”, P NO AJUSTADA Y NIVEL CRÍTICO. PL = PROTUSIONES LINGUALES; TB = TIEMPO DE BÚSQUEDA; PLPM = PROTUSIONES LINGUALES POR MINUTO; C/BQIM = CON BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA INDUCIDA POR LA MORDIDA; S/BQIM = SIN BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA INDUCIDA POR LA MORDIDA; C/BQNIM = CON BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA NO INDUCIDA POR LA MORDIDA; S/BQNIM = SIN BÚSQUEDA QUIMIOSENSITIVA NO INDUCIDA POR LA MORDIDA; C/DEPRED = CON DEPREDADOR; C/COMPET = CON COMPETIDOR. ....	20

## RESUMEN

México es el segundo lugar a nivel mundial con mayor cantidad de serpientes de importancia médica y es el primer lugar en el continente americano, donde el género *Crotalus* es el mejor representado dentro del territorio nacional. Dentro de este género destaca la especie *Crotalus atrox* al ser la especie más grande de las víboras de cascabel, a pesar de esto cuenta con competidores ecológicos y depredadores, como *Crotalus molossus* y *Lampropeltis polyzona*, respectivamente. Las serpientes han desarrollado órganos especializados para la búsqueda y captura, así como para identificar a otros organismos como posibles depredadores o competidores. Siendo así la quimiorrecepción uno de los sentidos más antiguos e importantes para las serpientes, la cual es producida por el órgano vomeronasal que es un órgano de gran importancia para las mismas, teniendo una quimiorrecepción muy avanzada con la cual pueden reconocer parte de su entorno. La quimiorrecepción ha sido bastante estudiada en lagartijas con una gran variedad de estímulos (depredadores, competidores, preferencia de presas, etc.) a diferencia de los estudios con serpientes en donde se ve un mayor enfoque hacia la quimiorrecepción con presas y la preferencia hacia éstas, por esta razón es que el presente trabajo se enfocó en evaluar una búsqueda quimiosensitiva de parte de *C. atrox* hacia una presa teniendo en cuenta la presencia de un posible competidor o depredador. Este proyecto de investigación se centró en el estudio de siete ejemplares de *C. atrox* en cautiverio, con los que se realizaron varios experimentos para investigar su comportamiento de búsqueda quimiosensitiva. Las serpientes se mantuvieron en condiciones controladas y se minimizó el estrés en la manipulación. En el primer experimento, se evaluó la búsqueda quimiosensitiva inducida por la mordida (BQIM) mediante la presentación de diferentes rastros de ratones. En el segundo experimento, se estudió la búsqueda quimiosensitiva no inducida por la mordida (BQNIM) mostrando un ratón vivo. Los experimentos 3(a) y 3(b) involucraron la presencia de un posible depredador, mientras que el experimento 4 examinó la respuesta ante un posible competidor. Se observaron las protusiones linguales y el tiempo de respuesta de las serpientes. Se encontró que *C. atrox* después de morder a sus presas, utilizan señales químicas específicas de las presas envenenadas para rastrearlas, en lugar de depender de las señales químicas generales producidas por las presas. Se observó un aumento en las protusiones linguales de *C. atrox* cuando se presentó un estímulo químico de una posible presa, pero una disminución cuando se detectó la presencia de un posible depredador o competidor, esto indicaría que *C. atrox* podría no competir directamente con *C. molossus*, y que podrían compartir su nicho alimentario, mientras que al enfrentarse al aroma conocido de *L. polyzona* no necesita demasiadas protusiones linguales para identificarlo. Los resultados obtenidos de estos experimentos proporcionan una valiosa perspectiva sobre el comportamiento de búsqueda quimiosensitiva de *C. atrox* en condiciones de laboratorio, contribuyendo al entendimiento de cómo estas serpientes interactúan con su entorno y responden a estímulos específicos.

## ABSTRACT

Mexico ranks second worldwide in the number of medically significant snakes, holding the top spot in the Americas. The genus *Crotalus* predominates within the national territory, with *Crotalus atrox* being the largest species of rattlesnake. Despite its size, *C. atrox* faces ecological competitors and predators such as *Crotalus molossus* and *Lampropeltis polyzona*. Snakes have evolved specialized organs for detection, capture, and recognition of potential competitors or predators. Chemoreception, produced by the vomeronasal organ, is one of the oldest and most critical senses in snakes, enabling them to discern aspects of their environment. While chemoreception has been extensively studied in lizards, focusing on several stimuli like predators, competitors, and prey preference, research on snakes has mainly concentrated on chemoreception related to prey and their preferences. This study centers on evaluating the chemosensory search behavior of *C. atrox* towards prey, considering the presence of potential competitors or predators. Seven captive *C. atrox* specimens were investigated in a series of experiments under controlled conditions to minimize stress. In the first experiment, strike-induced chemosensory searching (SICS) was assessed by presenting different mouse trails. The second experiment explored non-strike-induced chemosensory searching (NSICS) using a live mouse. Experiments 3(a) and 3(b) involved the presence of a potential predator, while experiment 4 examined the response to a potential competitor. Tongue flicking and response times of the snakes were observed. The findings reveal that *C. atrox* relies on specific chemical cues from envenomated prey to track them, rather than general chemical signals produced by the prey. The snakes exhibited increased tongue flicking when presented with a chemical stimulus from potential prey, but reduced tongue flicking when a potential predator or competitor was detected. This suggests that *C. atrox* may not directly compete with *C. molossus* and could share its food niche. When exposed to the known scent of *L. polyzona*, it required fewer tongue flicks for identification. These results shed light on *C. atrox's* chemosensory search behavior in a laboratory setting, enhancing our understanding of how these snakes interact with their environment and respond to specific stimuli.

## INTRODUCCIÓN

En el mundo existen 9,547 especies de reptiles, de las cuales, 864 se encuentran en México, lo que coloca a nuestro país en el segundo lugar a nivel mundial en su diversidad, sólo superado por Australia (PROFEPA, 2020). Dentro de los reptiles existen cuatro órdenes: Testudines (tortugas), Crocodylia (cocodrilos, caimanes y gaviales), Sphenodontia (tuataras) y Squamata (lagartos, lagartijas y serpientes) (Neri-Castro *et al.*, 2014). En México, se han registrado 439 especies de serpientes, de éstas el 20% son de importancia médica (Uetz *et al.*, 2023). México, es el país con mayor número de serpientes venenosas en el continente americano y es considerado el segundo lugar a nivel mundial después de Australia (Uetz *et al.*, 2023).

Las serpientes venenosas se clasifican dentro de la familia *Elapidae* y *Viperidae*. Los elápidos americanos comprenden dos géneros de serpientes terrestres, *Micrurus* y *Micruroides*, y un género de serpiente marina, *Hydrophis* (Uetz *et al.*, 2023). Todos los representantes de la familia *Elapidae* son venenosos, tienen dentición proteroglifa, cuerpos con escamas lisas y poca diferenciación entre el cuerpo y la cabeza (Neri *et al.*, 2022). Los géneros terrestres son conocidos como coralillos o serpientes de coral, y se caracterizan por tener coloraciones brillantes de rojo, negro y amarillo o blanco, generalmente dispuestas en patrones de anillos (Neri *et al.*, 2022).

Dentro de la familia *Viperidae* existen tres tipos de subfamilias que son *Viperinae*, *Azemiopinae* y *Crotalinae* (Vitt and Caldwell, 2014). En esta última se encuentran géneros como *Crotalus* (cascabel), *Agkistrodon* (cantiles) y *Bothrops* (nauyacacas) por mencionar algunos. En México, sólo se encuentra distribuida la subfamilia *Crotalinae*, representada por 64 especies que se agrupan en 10 géneros, los cuales poseen hábitos y características particulares. El género *Crotalus* es el mejor representado en nuestro territorio, cuya característica principal es la presencia de un crótalo (cascabel) en el ápice de la cola, esto exceptuando a *C. catalinensis* (Neri *et al.*, 2014). Este género también destaca por ser solenoglifos, ya que presentan colmillos huecos y estos son los únicos dientes en el maxilar, rotan de tal manera que permanecen pegados al techo de la boca cuando ésta se mantiene cerrada. Este mecanismo permite poseer colmillos más largos que inyectan el veneno profundamente en los tejidos de la presa. El cráneo de este tipo de serpientes es mucho más móvil que el de los proteroglifos y posee una forma triangular, la cual es consecuencia de la extensión de los huesos cuadrados. Las marcas de la mordedura son características y muy útiles para el diagnóstico en casos de accidentes ofídicos (Cabral, 2001).

Las serpientes del género *Crotalus* (serpientes de cascabel), son muy importantes para las culturas prehispánicas en México, Quetzalcóatl para los aztecas y Kukulcán para los mayas, era un dios cuya representación corresponde a una serpiente de cascabel con plumas. Su representación se puede encontrar desde Teotihuacán hasta Chichen Itzá. Los diamantes de la piel de la serpiente de cascabel, se consideran el comienzo de los puntos cardinales y la base cuadrada de la estructura piramidal (Fuentes, 2014).

Actualmente el respeto y veneración de estos organismos, se han convertido en miedo y aprovechamiento, no siempre sustentable. En el desierto de Chihuahua, los pobladores indican que matan a las serpientes de cascabel, algunas de estas personas que dicen matar a las serpientes (y potencialmente hacerlo), la mitad lo hacen motivadas por el miedo a ser mordido o evitar una mordida futura, mientras que otros las utilizan para consumo (Gatica, 2009).

Dentro del género *Crotalus* existe la especie *Crotalus atrox*, (Fig. 1) que es una de las especies de víbora de cascabel más grandes de México con una longitud media de 120 cm, pero se tiene registro de un individuo de 234 cm. Por otro lado, los machos alcanzan tamaños considerablemente más grandes que las hembras (SEMARNAT, 2018). Debido a la amplia distribución que posee *C. atrox*, se le encuentra en diversos tipos de vegetación en climas áridos y semiáridos como pastizales, bosques tropicales caducifolios, pastizal de mezquite, matorral tamaulipeco, matorral submontano, desiertos y en algunas ocasiones bosques de pino-encino. Se le puede encontrar en terrenos planos, laderas o cañones (Campbell y Lamar, 2004; Lazcano *et al.*, 2010). Se distribuye ampliamente en gran parte del suroeste y centro de los Estados Unidos, en los estados de Arkansas (oeste), Arizona (centro y sur), California (sureste), Nevada (punta sur), Nuevo México (centro y sur), Oklahoma (noreste y centro-norte) y Texas (este y punta norte). En México ocupa gran parte del norte del país en el noreste de Baja California, Sinaloa, Chihuahua (excepto en la Sierra Madre Occidental), el noreste de Durango y Zacatecas, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo, norte de Veracruz y una población aislada en Oaxaca (Campbell y Lamar, 2004; Lazcano *et al.*, 2010).

*C. atrox* tiene diversos competidores, donde destaca la víbora de cascabel de cola negra (*Crotalus molossus*) (Fig. 7) debido a que comparten bastantes características ecológicas. Dentro de estas características se encuentra la temperatura corporal de actividad, ésta es reportada para ambas especies de 29.5 °C, por lo cual sus meses de mayor actividad son de julio a octubre (Beck, 1995). Para *C. atrox* se reporta un uso frecuente de madrigueras para refugiarse, mientras que para *C. molossus* el uso no es tan frecuente pero no es raro encontrarlas refugiándose en éstas (Beck, 1995). Otra característica que comparten estas especies es la dieta, ya que en ambas especies se compone principalmente de pequeños mamíferos (ratas, ratones y pequeños conejos), aunque en una pequeña proporción incluye a lagartijas y aves pequeñas, también es probable que incorporen en su dieta a crías de tlacuaches. Sin embargo, el tamaño del ejemplar determina en gran medida el tipo de presa que consumen y también hay diferencias en los ítems alimentarios a lo largo del año (Lazcano *et al.*, 2010; Balderas, 2009). En México, estas especies comparten distribución en los estados, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Tamaulipas, Sinaloa, San Luis Potosí, Nuevo León, Querétaro, Hidalgo, Estado de México, Durango y Guanajuato (Paredes *et al.*, 2011). En cuanto a los depredadores de *C. atrox* se encuentra la serpiente falsa coral mexicana (*Lampropeltis polyzona*) (Fig. 4) ya que ésta es considerada como un depredador natural del género

*Crotalus* (Ruane et al., 2014; Chambers y Hillis, 2020). La composición de la dieta de *L. polyzona* está conformada principalmente de reptiles (lagartijas y serpientes), ocasionalmente de mamíferos (roedores y musarañas) y rara vez de aves y de huevos de reptiles (Vásquez-Cruz, 2020). Son inocuas al veneno de las serpientes de cascabel nativas, ya que se alimentan de ellas (Benítez, 1997). Las especies de *C. atrox* y *L. polyzona* comparten hábitat en los estados de Hidalgo, Puebla, Michoacán, Oaxaca, Sinaloa, Sonora, Veracruz y posiblemente los estados de Guanajuato y San Luis Potosí (Uetz et al., 2023).

Las serpientes han desarrollado órganos especializados para la búsqueda y captura, así como estrategias que sirven para evitar ser lastimadas durante la caza para posteriormente terminar alimentándose de los organismos capturados. Estas estrategias de búsqueda y caza están bien apoyadas por órganos especializados con los que cuentan estas serpientes, siendo el órgano vomeronasal y las fosetas termorreceptoras. Estas últimas están ubicadas entre el ojo y los orificios nasales. Las fosetas son órganos que pueden responder a estímulos infrarrojos, ya que con ellos puede detectar las variaciones de la temperatura y discriminar los objetos inanimados de los seres vivos, pues estos ayudan a crear imágenes dentro de su cabeza a partir de la temperatura del entorno (Goris, 2011).

La quimiorrecepción es uno de los sentidos más antiguos. Es una modalidad sensitiva que se refiere a la capacidad de las células de responder ante determinados estímulos químicos. En términos generales, las células son capaces de responder a una variedad de moléculas señalizadoras, estímulos químicos tales como las hormonas que provocan cambios en la función celular (García-Sacristán, 2018). Las serpientes, al igual que algunos mamíferos, han desarrollado un sistema olfativo accesorio o alternativo, que les permite la captación de estímulos de origen social o sexual, y al cual se le ha denominado sistema vomeronasal u órgano de Jacobson. Las moléculas odorantes presentes en el ambiente se llevan al vomeronasal por medio de la lengua, por lo que la alteración en la frecuencia de movimientos en ella indica que las serpientes están detectando un olor (Martínez-Marcos *et al.*, 2005). La detección de los olores en las serpientes se realiza inicialmente mediante la lengua bífida, con la cual captan partículas odoríferas del medio, posteriormente esta información es transportada hacia el interior de la boca y viaja por medio de fibras nerviosas hacia el epitelio del órgano vomeronasal, donde perciben los estímulos en receptores, y hacia el nervio vomeronasal y los glomérulos en el bulbo olfatorio accesorio. La capacidad olfativa de las serpientes es importante en las interacciones sociales, sexuales y en el contexto de alimentación, por ello este sistema define en mucho la conducta de los ofidios (Castañeda-Ortega et al., 2012).

En este proyecto se pretende aprender más acerca de la quimiorrecepción de *C. atrox* y cómo es que ésta reacciona ante una posible presa, competidor y depredador. Cabe resaltar que los estudios sobre quimiorrecepción en serpientes son muy escasos y los pocos que se pueden encontrar son dirigidos únicamente hacia la reacción quimiosensitiva ante una posible presa.

## ANTECEDENTES

Rivera-Velázquez en 2002, realizó un estudio sobre la quimiorrecepción en la conducta alimentaria de la serpiente *Agkistrodon bilineatus* en cautiverio. En dicho estudio se determinó la capacidad de discriminación de rastros químicos de presas mediante la quimiorrecepción en condiciones controladas. Se contaron las veces que los organismos realizaban protusiones linguales en reposo, antes y después de la mordida y se observó la respuesta de búsqueda quimiosensitiva inducida por mordida (BQIM). Se registró una conducta BQIM, el cautiverio no afecta tal seguimiento, pero sí la forma de relocalización.

Greenbaum (2004), probó si las señales o esencias químicas de tejidos envenenados eran más importantes que los aromas propios de las presas para que las serpientes implementen su búsqueda. Para examinar este fenómeno utilizó tres poblaciones de una especie de vipérido *Agkistrodon contortrix* con diferencias en distribución y también en su patrón dietario. Utilizó diferentes tratamientos con varias presas tanto envenenadas como no envenenadas. En conjunto, sus resultados sugieren que cuando las serpientes buscan presas, los estímulos de tejido envenenado son más importantes para ellas que los olores que surgen de la propia presa.

Saviola y colaboradores en 2010 estudiaron las respuestas quimiosensorial de *Crotalus atrox* hacia ratones de laboratorio (*Mus musculus*) de diferente sexo, condición reproductiva y sus crías. No se demostró que *C. atrox* prefiera censar químicamente de manera significativa a las hembras lactantes frente a otros de los tratamientos utilizados.

Saviola y colaboradores, (2012), investigaron las respuestas quimiosensoriales de *Crotalus viridis* hacia olores de presas endotermas y presas ectotermas. Sus resultados sugieren que las crías de *C. viridis* muestran significativamente mayor interés hacia las señales químicas de presas ectotermas, mientras que los adultos presentaron mayor interés a señales de presas endotermas.

Raya-García (2016), describió y evaluó la actividad quimiosensorial y preferencia química de presas en dos especies de serpientes crípticas y simpátricas del estado de Michoacán. La finalidad fue comparar sus habilidades para censar estímulos químicos relacionados con olores potenciales de presas de vertebrados e invertebrados que ocurren en su hábitat. Se encontró que estas serpientes son capaces de identificar químicamente su alimento y discriminar significativamente entre las señales químicas (olores) de sus presas preferidas y no preferidas. Los resultados sugieren que estas dos especies de serpientes crípticas tienen respuestas adaptativas en su conducta que les permite quizás evitar un marcado traslape de su nicho trófico y a pesar de su condición simpátrica pueden coexistir espacialmente.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Evaluar la habilidad de discriminación bioquímica de *Crotalus atrox* en condiciones de depredación y competencia.

### **Objetivos particulares**

- Identificar si la serpiente *C. atrox* presenta una conducta de búsqueda quimiosensitiva inducida por la mordida (BQIM).
- Evaluar cuantitativamente el número de protrusiones linguales de *C. atrox* cuando se encuentren bajo influencia de posibles presas (*Mus musculus*), con mordida y sin mordida.
- Evaluar cuantitativamente el número de protrusiones linguales de *C. atrox* cuando se encuentren en condiciones de un potencial depredador (*Lampropeltis polyzona*).
- Evaluar cuantitativamente el número de protrusiones linguales de *C. atrox* cuando se encuentren en condiciones de un potencial competidor (*Crotalus molossus*).

## **JUSTIFICACIÓN**

Dentro del grupo de los ofidios, los estudios relacionados con quimiorrecepción son bastante escasos y más aquellos que están relacionados con serpientes venenosas como lo es *Crotalus atrox*. Los pocos estudios que hay son únicamente sobre la quimiorrecepción de las serpientes hacia sus posibles presas y cómo es que discriminan a las mismas, es por esta razón que este trabajo no se basa únicamente en obtener datos relacionados con la alimentación de la especie, sino en cómo actúa la quimiorrecepción de *C. atrox* ante una posible presa, un posible competidor y un posible depredador. Gracias a esto podremos entender un poco mejor la ecología quimiorreceptiva relacionada a *C. atrox* y su cadena trófica.

## MATERIALES Y METODOS

Se trabajó con la especie *Crotalus atrox* (Fig. 1), la cual tiene un color base generalmente gris pardo, pero puede ser rojo ladrillo, rosa, rosa pardo, amarillento o blanco tiza; presenta un patrón de motas sobre el cuerpo de color negro o café oscuro; posee de 24 a 45 manchas con un tono que va del café al café grisáceo; las manchas comienzan en forma rectangular, tomando una forma hexagonal a la mitad y por último una forma de diamante en el último cuarto del cuerpo; las manchas están bordeadas por escamas irregulares de color negro o café oscuro y con el borde rodeado por blanco, el cual conecta las puntas de las manchas en el superior del dorso; las manchas están separadas en el medio por escamas grises o blancas; presenta manchas laterales de color oscuro; una banda postocular característica de un color café grisáceo y que anterior y posteriormente es bordeada por franjas de color blanco; el dorso de la cabeza cuenta con un patrón de motas oscuras; en ciertos casos presenta un par de líneas transversales sobre las supraoculares; en la cola presenta una serie de anillos, entre cuatro y ocho, blancos y negros (de igual envergadura) que se intercalan y que por lo general se interrumpen en la zona ventral de la cola; las últimas infralabiales y la mental poseen el patrón de motas del cuerpo; las escamas ventrales son de un color claro con motas en el borde; la zona gular también presenta un color claro; las subcaudales son claras con un ligero patrón de motas grises (Campbell y Lamar, 2004). La escama rostral es más alta que ancha; 11 a 32 escamas en la zona que comprende entre las internasales y prefrontales; con dos internasales, de tres a siete intersupraoculares; una sola escama loreal a cada lado del rostro; de una a dos interoculabiales; una serie de 12 a 18 supralabiales y de 14 a 20 infralabiales (primer par divididas); 23 a 29 escamas mediodorsales; los machos presentan un intervalo de 168 a 193 escamas ventrales y las hembras uno de 174 a 196; los machos tienen de 21 a 32 escamas subcaudales mientras que las hembras de 16 a 24; tanto machos como hembras presentan la escama anal dividida (Campbell y Lamar, 2004; Lazcano *et al.*, 2010).



**Figura 1.** Vibora de cascabel de diamantes (*Crotalus atrox*). Foto tomada por: Dionicio J. Uriel

En este proyecto se obtuvieron datos de siete ejemplares de la colección de serpientes *C. atrox* del laboratorio de herpetología “Vivario” de la F.E.S. Iztacala UNAM. Todos los organismos cumplieron en sus registros con al menos dos años de permanecer en cautiverio.

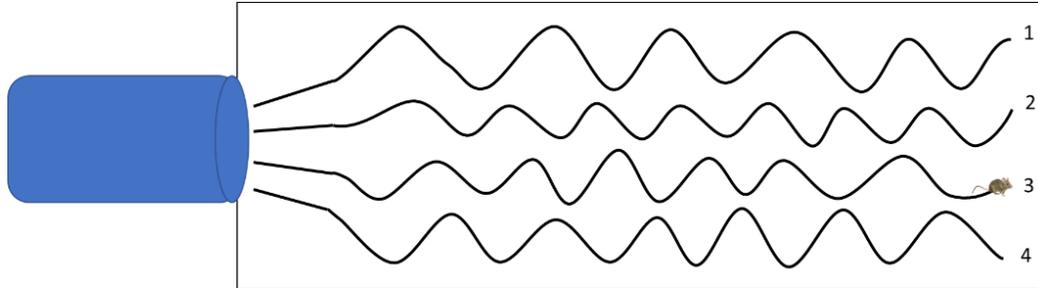
La alimentación se realizó una vez por semana, los ratones fueron sacrificados antes de ofrecerlos a la serpiente y se permitió la mordida para su posterior ingestión. Se evitó un exceso de manejo innecesario para evitar estrés en el organismo, la única manipulación fue para darle limpieza de encierro, alimentación, cambios de agua y la presente experimentación. Los organismos con los que se trabajó son adultos y todos permanecieron en encierros individuales, con temperaturas de 28 °C en el día y 25 °C en la noche.

En todos los experimentos las serpientes tuvieron una semana de ayuno, así mismo se manejaron con la mayor precaución y tranquilidad posible para evitar estrés en el organismo que pudiese alterar los resultados. Todos los experimentos fueron grabados con la cámara de un celular de la marca Motorola, modelo moto g60. Los datos se recopilaron a partir de las 1300 a 1800 hrs, que es la hora de mayor actividad en la especie. Para cada experimento se dejó un tiempo de reacción de 30 minutos por individuo en las siete serpientes. Por seguridad y mayor espacio, todos los experimentos se realizaron en un espacio del laboratorio destinado al proyecto minimizando las distracciones y alteraciones.

### **Experimento 1: Búsqueda Quimiosensitiva Inducida por la Mordida (BQIM)**

Sobre un hule desinfectado e inoloro de 2 x 1.4 metros se trazaron cuatro líneas curvas, todas partiendo del centro del hule (Fig. 2). El hule se colocó en un sitio que no permitía que las serpientes se desviarán fuera del lugar del experimento. Se eligió al azar una de las cuatro líneas para ser pasado un ratón previamente sacrificado y ofrecido mediante unas pinzas a la serpiente para que lo mordiera, mientras que por las otras tres líneas se pasó un ratón vivo diferente en cada una para formar así cuatro rastros de distintas presas, incluyendo la presa detectada y mordida por *C. atrox*. La serpiente fue colocada dentro de un bote lo suficientemente grande para que se sintiera cómoda, el bote se colocó de forma horizontal y tapado para lograr el menor estrés posible. Una vez que la serpiente estuviera calmada dentro del bote (dejara de sonar el cascabel o crótalo), se destapo el bote y se dio a morder el ratón previamente seleccionado al azar para después pasarlo por el rastro y colocarlo al final del mismo. Si posterior a la primera mordida el individuo no presentaba actividad dentro de diez minutos, se ofrecía una segunda mordida y esto se repetía hasta haber transcurrido tres mordidas. Se realizaron tres repeticiones del experimento con siete serpientes diferentes.

Se realizó un conteo de protusiones linguales y tiempo a partir de que la serpiente mordió el ratón y se dio por concluido una vez llego a su presa, o bien una vez que pasaron 30 minutos desde que mordió por primera vez.



**Figura 2.** Diagrama del método utilizado con rastros de cuatro ratones diferentes incluyendo el ratón mordido por *C. atrox* (este fue elegido al azar, así como el camino a seguir). Cada uno de los rastros tiene líneas con curvas diferentes entre sí.

### **Experimento 2: Búsqueda Quimiosensitiva No Inducida por la Mordida (BQNIM)**

Dentro del encierro de los organismos se les mostró un ratón vivo, esto con el objetivo de que la serpiente detectara su olor y de esta manera comenzara una búsqueda quimiosensitiva no inducida por la mordida. El ratón fue mostrado con un gancho herpetológico y una pequeña jaula (Fig. 3), este se le ofreció a la serpiente y se retiró una vez fue detectado, ya sea por vista o lanzando una mordida depredatoria o defensiva (se quitó el ratón lo suficientemente rápido para evitar que existiera una mordida). Se realizaron



**Figura 3.** Gancho herpetológico con una pequeña jaula hecha con un nido de plástico para canarios y una base de policarbonato

tres repeticiones del experimento con siete serpientes diferentes.

Se realizó un conteo de protusiones linguales y tiempo a partir de que la serpiente detectó al ratón y se dio por concluido una vez pasaron 30 minutos.

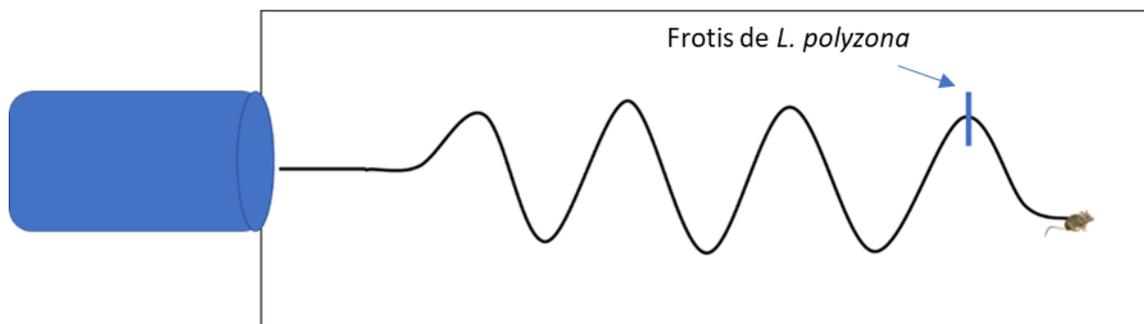
### **Experimento 3(a): BQIM con presencia de un posible depredador**



**Figura 4:** Serpiente falsa coral mexicana (*Lampropeltis polyzona*). Foto tomada por: Dionicio J. Uriel

Este experimento se realizó bajo las características y cuidados del experimento 1, a diferencia de que solo se trazó una única línea curva por donde se pasó el rastro de un ratón previamente sacrificado y mordido por *C. atrox*. Posteriormente el rastro realizado se atravesó con un frotis de piel y cloaca de *Lampropeltis polyzona* a aproximadamente 20 cm del ratón (Fig. 5). Una vez listo el recorrido con el rastro del ratón y el frotis de *L. polyzona* se dejó salir del bote a *C. atrox* para que siguiera el rastro. Se

realizaron tres repeticiones del experimento con siete serpientes diferentes y se cuantificaron las protusiones linguales y tiempo a partir de que la serpiente mordió el ratón, se dio por concluido una vez llegó a su presa o bien una vez que pasaron 30 minutos desde que mordió.

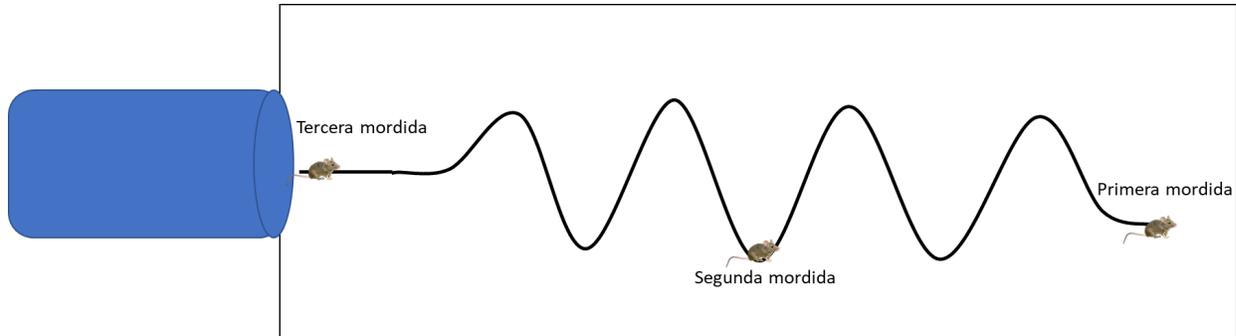


**Figura 5.** Diagrama del método utilizado con el rastro del ratón previamente mordido por *C. atrox* y atravesado por el frotis de *L. polyzona*.

### **Experimento 3(b): BQIM con presencia de un posible depredador**

Se realizó una variante del experimento 3(a) para descartar cualquier error durante las repeticiones, este se realizó bajo las características y cuidados del experimento 1. El experimento consto en impregnar un ratón con frotis de la cloaca de *L. polyzona*, posteriormente se le ofrecía el ratón a *C. atrox* para ver su comportamiento. Si el comportamiento era de huida y no había mordida, se cerraba el bote y se esperaba a que la serpiente se tranquilizara para volver a ofrecer el ratón con aroma del depredador, si no volvía a morder se daba por concluida esa repetición. En caso de que *C. atrox* mordiera el ratón se realizaba el rastro al igual que en los experimentos pasados con la diferencia de que en cada mordida se acercó el ratón para ver el comportamiento de la serpiente (Fig. 6). Se hicieron tres repeticiones del experimento

con siete serpientes diferentes y se cuantificaron las protusiones linguales y tiempo a partir de que la serpiente mordió el ratón, se dio por concluido una vez llego a su presa o bien una vez que pasaron 30 minutos desde que mordió.



**Figura 6.** Diagrama del método utilizado con el rastro del ratón previamente impregnado de frotis de cloaca de *L. polyzona* y mordido por *C. atrox*. En donde cada mordida se fue acercando más el ratón.

#### **Experimento 4: BQIM con presencia de un posible competidor**

Este experimento se realizó bajo las características y cuidados del experimento 3, a diferencia de que antes a la mordida de *C. atrox*, el ratón fue ofrecido a un organismo de la especie *C. molossus* en lugar de cortar el rastro con frotis del competidor.

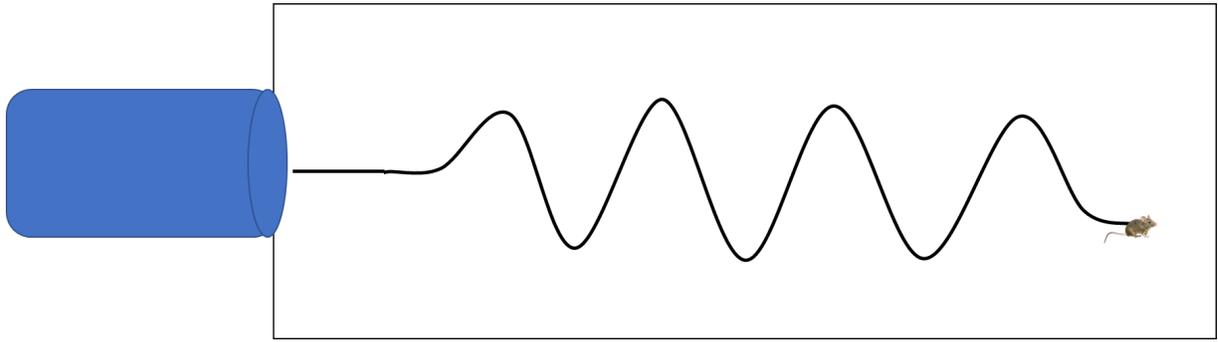
Esto se hizo con el objetivo de que lo mordiera y se quedara el olor de la misma y este fuera identificado por *C. atrox* (Fig. 8).

Se realizaron tres repeticiones del experimento con siete serpientes diferentes.

Se realizó un conteo de protusiones linguales y tiempo a partir de que la serpiente mordió el ratón y se dio por concluido una vez llego a su presa o bien una vez que pasaron 30 minutos desde que mordió.



**Figura 7:** Víbora de cascabel de cola negra (*Crotalus molossus*). Foto tomada por: Dionicio J. Uriel



**Figura 8.** Diagrama del método utilizado con el rastro del ratón previamente mordido por *C. molossus* y posteriormente por *C. atrox*

### **Análisis estadísticos**

Todos los experimentos fueron analizados mediante un estadístico de Kruskal-Wallis y se utilizó una prueba de Holm-Sidak para encontrar, si es que existiera, una diferencia significativa entre los diferentes experimentos.

## RESULTADOS

Dentro del primer experimento en el 80.95% (17 de las 21 repeticiones) se logró apreciar una BQIM y en el 19.05% (cuatro repeticiones) hubo mordida, pero no presentaron una BQIM. Se obtuvo una media de 482.38 PL (fig. 9; tabla 1) y un tiempo promedio de búsqueda de 13.16 minutos (fig. 10; tabla 1) con un promedio de 36.62 PL por minuto en aquellas repeticiones con BQIM (fig. 11; tabla 1). Por otro lado, se obtuvo una media de 753.75 PL (fig. 9; tabla 1) y un tiempo promedio de 31.79 minutos (fig. 10; tabla 1) con un promedio de 24.20 PL por minuto en las repeticiones sin BQIM (fig. 11; tabla 1).

**Tabla 1:** Promedio de protusiones linguales y tiempo de BQIM (Búsqueda Quimiosensitiva Inducida por la Mordida) y sin la misma por organismo, donde “\*” significa que no hubo conducta. Donde PL = Protusiones linguales.

Organismo	Con BQIM			Sin BQIM		
	PL	Tiempo (Min)	PL/Min	PL	Tiempo (Min)	PL/Min
1	276	9.58	28.81	683.50	35.10	19.48
2	563.67	18.21	30.95	*	*	*
3	201.50	9.10	22.16	824	28.49	28.92
4	872.33	12.52	69.66	*	*	*
5	441	12.47	35.36	*	*	*
6	454.50	16.93	26.85	*	*	*
7	567.67	13.34	42.55	*	*	*
<b>Promedio total</b>	482.38	13.16	36.62	753.75	31.79	24.20

Para el segundo experimento se obtuvo que el 66.66% (14 repeticiones) presento BQNIM, mientras que el 33.33% (siete de las repeticiones) no conto con una BQNIM. Se obtuvo una media de 728.89 PL (fig. 9; tabla 2) y un tiempo promedio de 30 minutos para BQNIM (fig. 10; tabla 2) con un promedio de 24.30 PL por minuto en aquellas serpientes que tuvieron una BQNIM (fig. 11; tabla 2). Por otra parte, se obtuvo una media de 187.33 PL (fig. 9; tabla 2) y un promedio de 30 minutos para BQNIM (fig. 10; tabla 2) con un promedio de 6.24 PL por minuto para las serpientes que no presentaron una BQNIM, (fig. 11; tabla 2).

**Tabla 2:** Promedio de protusiones linguales y tiempo con BQNIM (Búsqueda Quimiosensitiva No Inducida por la Mordida) y sin la misma por organismo en donde “\*” significa que no hubo organismos con esa conducta. Donde PL = Protusiones linguales.

Organismo	Con BQNIM			Sin BQNIM		
	PL	Tiempo (Min)	PL/Min	PL	Tiempo (Min)	PL/Min
1	*	*	*	230	30	7.67
2	815	30	27.17	135	30	4.50
3	761.67	30	25.39	*	*	*
4	790	30	26.33	*	*	*
5	790	30	26.33	*	*	*
6	596	30	19.87	197	30	6.57
7	620.67	30	20.69	*	*	*
<b>Promedio total</b>	728.89	30	24.30	187.33	30	6.24

Dentro del experimento 3(a), se registró que el 47.62% (10 repeticiones) los organismos tuvieron una media de 312 PL (fig. 9; tabla 3) y un tiempo promedio de búsqueda de 8.71 minutos (fig. 10; tabla 3) con un promedio de 39.11 PL por minuto (fig. 11; tabla 3). Por otro lado, el 52.38% (11 de las repeticiones) no tuvo una BQIM, ya que el 33.33% (siete de las repeticiones) las serpientes no mordieron, mientras que el 19.05% (cuatro repeticiones) si lo hicieron, pero no hubo búsqueda.

Para el experimento 3(b), se obtuvo un 28.57% (seis repeticiones) en donde los organismos realizaron una BQIM con una media de 165.28 PL (fig. 9; tabla 3) y un tiempo promedio de búsqueda de 11.39 minutos (fig. 10; tabla 3) con una media de 26.99 PL por minuto (fig. 11; tabla 3). De este 28.57% el 19.05% (cuatro de seis repeticiones) se tuvo que acercar el ratón y las serpientes lo metieron dentro del bote para comer, mientras que el otro 9.52% (dos repeticiones) rastrearon con normalidad. En el 71.43% restantes (15 repeticiones) no hubo una BQIM por parte de los organismos, ya que el 57.14% (12 repeticiones) las serpientes no mordieron, mientras que el 14.29% restante (tres repeticiones) si lo hicieron, pero no soltaron el ratón y se lo comieron, por ende, no se pudo hacer el rastro.

En conjunto de los experimentos 3(a) y 3(b), se obtuvo un 38.10% (16 repeticiones de 42) en donde los organismos realizaron una BQIM con una media de 257.37 PL (fig. 9) y un tiempo promedio de búsqueda de 9.03 minutos (fig. 10) con un promedio de 29.24 PL por minuto (fig. 11). En el 61.90% restantes (26 repeticiones) no hubo una BQIM por parte de los organismos, ya que el 54.76% (23 repeticiones) las serpientes no mordieron, mientras que el 7.14% restante (tres repeticiones) si lo hicieron, pero no soltaron el ratón y se lo comieron, por ende, no se pudo hacer el rastro para analizar la búsqueda.

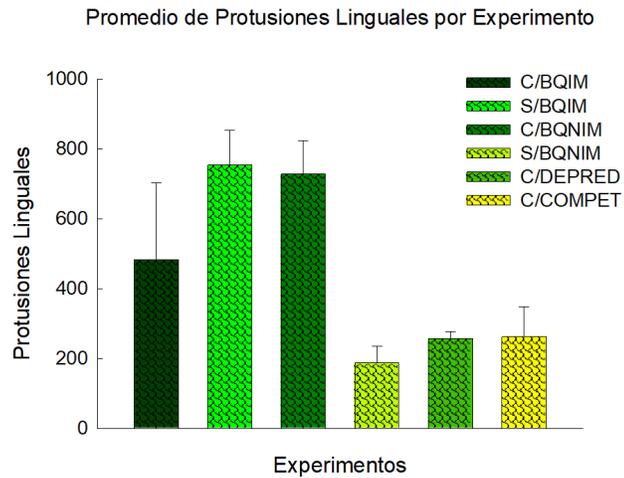
**Tabla 3:** Promedio de protusiones linguales y tiempo de BQIM (Búsqueda Quimiosensitiva Inducida por la Mordida) por organismo ante la presencia de un frotis de *L. polyzona* sobre el ratón en ambas partes del experimento 3. Donde “\*” significa que no hubo organismos con BQIM y PL = Protusiones linguales.

Organismo	Experimento 3(a)			Experimento 3(b)		
	PL	Tiempo (Min)	PL/Min	PL	Tiempo (Min)	PL/Min
1	331.50	8.33	39.80	198.33	7.86	25.24
2	338.67	13.58	24.94	157.50	3.17	49.68
3	233.33	6.94	33.64	*	*	*
5	347.50	5.99	58.06	140	23.14	6.05
6	*	*	*	*	*	*
7	*	*	*	*	*	*
8	*	*	*	*	*	*
<b>Promedio total</b>	312.75	8.71	39.11	165.28	11.39	26.99

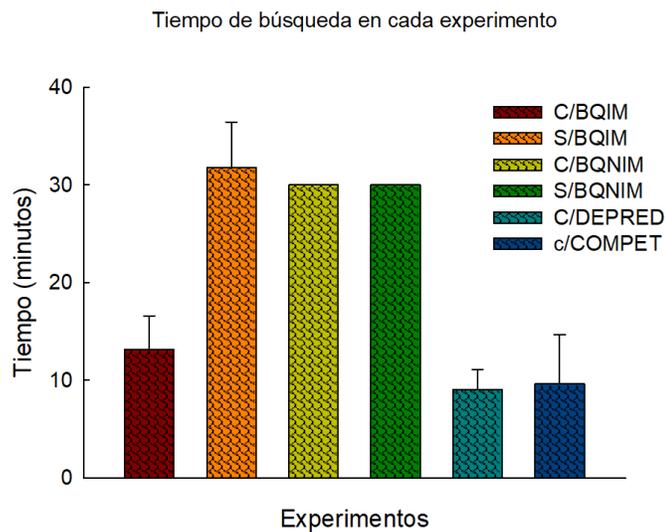
Para el cuarto experimento, el 52.38% de serpientes (11 repeticiones) tuvieron una BQIM en donde se obtuvo una media de 262.17 PL (fig. 9; tabla 4) y un tiempo promedio de búsqueda de 9.63 minutos (fig. 10; tabla 4) con un promedio de 30.98 PL por minuto (fig. 11; tabla 4). Por otra parte, el 47.62% restante (10 repeticiones) no hubo una BQIM debido a que en 28.57% (seis repeticiones) las serpientes no mordieron y en el 19.05% (cuatro repeticiones) mordieron, pero no hubo búsqueda.

**Tabla 4:** Promedio de protusiones linguales y tiempo con BQIM por organismo ante la presencia de *C. molossus* en donde “\*” significa que no hubo organismos con BQIM y PL = Protusiones linguales.

Organismo	PL	Tiempo (Min)	PL/Min
1	317.00	8.50	37.29
2	267.00	17.77	15.03
3	153.33	7.02	21.85
4	369.50	10.36	35.67
5	*	*	*
6	*	*	*
7	204.00	4.53	45.03
<b>Promedio total</b>	<b>262.17</b>	<b>9.63</b>	<b>30.98</b>

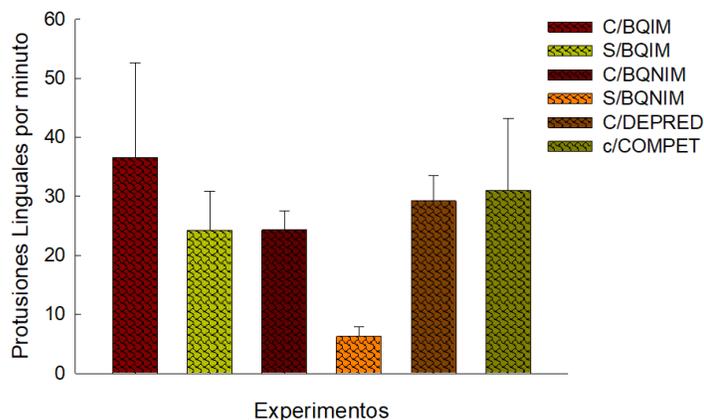


**Figura 9.** Promedios de las protusiones linguales en cada uno de los experimentos, donde se aprecia C/BQIM (con búsqueda quimiosensitiva inducida por la mordida), S/BQIM (sin búsqueda quimiosensitiva inducida por la mordida), C/BQNIM (con búsqueda quimiosensitiva no inducida por la mordida), S/BQNIM (sin búsqueda quimiosensitiva no inducida por la mordida), C/DEPRED (rastreo con depredador) y C/COMPET (rastreo con competidor)



**Figura 10.** Promedios del tiempo en minutos de búsqueda en cada uno de los experimentos, donde se aprecia C/BQIM (con búsqueda quimiosensitiva inducida por la mordida), S/BQIM (sin búsqueda quimiosensitiva inducida por la mordida), C/BQNIM (con búsqueda quimiosensitiva no inducida por la mordida), S/BQNIM (sin búsqueda quimiosensitiva no inducida por la mordida), C/DEPRED (rastreo con depredador) y C/COMPET (rastreo con competidor)

Protusiones Linguales por minuto durante los Experimentos



**Figura 11.** Promedios de las protusiones linguales por minuto de búsqueda en cada uno de los experimentos, donde se ve C/BQIM (con búsqueda quimiosensitiva inducida por la mordida), S/BQIM (sin búsqueda quimiosensitiva inducida por la mordida), C/BQNIM (con búsqueda quimiosensitiva no inducida por la mordida), S/BQNIM (sin búsqueda quimiosensitiva no inducida por la mordida), C/DEPRED (rastreo con depredador) y C/COMPET (rastreo con competidor)

Realizando los experimentos previamente descritos, se pudieron observar algunas conductas de interés que se repetían en varios de los organismos utilizados, por ejemplo, una búsqueda directa en el experimento 1, una posición de reposo absoluto para el experimento 2 o una permanencia en el refugio en el experimento 3. Todas las conductas fueron registradas junto al porcentaje de repetición que se obtuvo por cada experimento (tabla 5).

**Tabla 5:** Comportamientos que se observaron dentro de los experimentos realizados y el porcentaje de repetición en cada uno, donde BQIM es la búsqueda quimiosensitiva inducida por la mordida, mientras que BQNIM es la búsqueda quimiosensitiva no inducida por la mordida.

Experimento	Comportamientos	Porcentaje de repetición
1. BQIM	Retención del ratón (Al morder no soltaron el ratón y se tuvo que forzar para que lo soltara)	38.09 %
	BQIM directa (Siguió el rastro tal cual paso el ratón)	38.09 %
	Buscaban nuevo escondite (Se fueron detrás o a lado del bote)	23.80 %
	Tendencia a la permanencia en el refugio (Salieron del bote, pero no por completo o se regresaron)	23.80 %
	BQIM indirecta (No siguió el rastro completo)	19.04 %
	Permanencia en el refugio (Nunca salió del bote)	14.29 %
	No se comieron al ratón	4.76 %

	BQIM sin éxito (Hubo búsqueda, pero no llegaron al ratón)	4.76 %
<b>2. BQNIM</b>	Posición de reposo	57.14 %
	Alto grado de desplazamiento	52.39 %
	Posición de defensa	38.09 %
	Poco grado de desplazamiento	23.81 %
	Detectaron de forma visual	9.52 %
	PL de larga duración	4.76 %
	<b>3(a). BQIM con depredador</b>	Cabeceos (Movimientos laterales del cuello y cabeza)
Permanencia en el refugio (Nunca salió del bote)		47.62 %
Tendencia a la permanencia en el refugio (Salieron del bote, pero no por completo o se regresaron)		47.62 %
Huida (No mordieron al ratón, huyeron de él)		47.62 %
Resguardo de presa (Se llevaron al ratón al lado contrario del rastro)		14.28 %
Ignoro el frotis		9.52 %
Cascabeleo (Movi6 el cr6talo sin haber un est6mulo aparente)		4.76 %
<b>3(b). BQIM con depredador</b>		Permanencia en el refugio (Nunca sali6 del bote)
	Huida (No mordieron al rat6n, huyeron de 6l)	57.14 %
	Resguardo de presa (Se llevaron al rat6n dentro del bote)	23.80 %
	Tendencia a la permanencia del refugio (Salieron del bote, pero no por completo o se regresaron)	14.28 %
	Ignor6 el olor	14.28 %
	Duda de la presa (Mord6an y soltaban el rat6n antes de com6rselo)	9.52 %
	Mordida defensiva	4.76 %
	Cabeceos (Movimientos laterales del cuello y cabeza)	4.76 %
	<b>4. BQIM con competidor</b>	Tendencia a la permanencia del refugio (Salieron del bote, pero no por completo o se regresaron)
Cabeceos (Movimientos laterales del cuello y cabeza)		33.33 %
Ignoro el rat6n		14.28 %
Permanencia en el refugio (Nunca sali6 del bote)		14.28 %
Dudaron de la presa (Mord6an y soltaban el rat6n antes de com6rselo)		14.28 %
Resguardo de presa (Se comi6 el rat6n dentro del bote)		9.52 %
BQIM directa (Siguieron el rastro tal cual paso el rat6n)		4.76 %
BQIM indirecta (No siguieron el rastro completo)		4.76 %

Comparando los experimentos frente al número de protusiones linguales mediante un estadístico de Kruskal-Wallis, se encontró que existe diferencia estadísticamente significativa entre ellos ( $P < 0.001$ ) (Tabla 6). Utilizando una prueba de Holm-Sidak, se encontró que dentro de estos experimentos, hubo diferencias significativas entre Protusiones linguales totales vs. Protusiones linguales por minuto (PL vs PLPM), así como entre Protusiones linguales vs. Tiempo de búsqueda (PL vs TB), ambos mostrando una  $P < 0.001$  (Tabla 7).

**Tabla 6:** Comparación de los experimentos frente a el número de protusiones linguales mediante un estadístico de Kruskal-Wallis, donde G. L. es grados de libertad; S. C. es suma de cuadrados; V. P. es variación promedio.

<b>Comparación por factor: Experimento vs Protusiones linguales</b>					
<b>Fuente de variación</b>	<b>G. L.</b>	<b>S. C.</b>	<b>V. P.</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Protusiones linguales</b>	2	2688341.176	1344170.588	221.009	<0.001
<b>Experimento</b>	5	423589.054	84717.811	13.929	<0.001
<b>Protusiones linguales x Experimento</b>	10	771352.049	77135.205	12.683	<0.001

**Tabla 7:** Prueba de Holm-Sidak por experimento comparando PL vs TB y PL vs PLPM, donde se muestra la diferencia de medias, “T”, P no ajustada y nivel crítico. PL = protusiones linguales; TB = tiempo de búsqueda; PLPM = protusiones linguales por minuto; C/BQIM = con búsqueda quimiosensitiva inducida por la mordida; S/BQIM = sin búsqueda quimiosensitiva inducida por la mordida; C/BQNIM = con búsqueda quimiosensitiva no inducida por la mordida; S/BQNIM = sin búsqueda quimiosensitiva no inducida por la mordida; C/DEPRED = con depredador; C/COMPET = con competidor.

<b>Experimento</b>	<b>Comparación</b>	<b>Diferencias de medias</b>	<b>T</b>	<b>P no ajustada</b>	<b>Nivel crítico</b>
<b>C/BQIM</b>	PL vs. TB	469.217	11.256	<0.001	0.017
	PL vs. PLPM	445.762	10.693	<0.001	0.025
<b>S/BQIM</b>	PL vs. PLPM	729.551	9.355	<0.001	0.017
	PL vs. TB	721.957	9.257	<0.001	0.025
<b>C/BQNIM</b>	PL vs. PLPM	704.593	15.649	<0.001	0.017
	PL vs. TB	698.889	15.522	<0.001	0.025
<b>S/BQNIM</b>	PL vs. PLPM	181.089	2.844	0.006	0.017
	PL vs. TB	157.333	2.471	0.016	0.025
<b>C/DEPRED</b>	PL vs. TB	248.342	4.503	<0.001	0.017
	PL vs. PLPM	228.125	4.137	<0.001	0.025
<b>C/COMPET</b>	PL vs. TB	252.532	5.120	<0.001	0.017
	PL vs. PLPM	231.192	4.687	<0.001	0.025

## DISCUSIÓN

Numerosos experimentos indican que las serpientes de cascabel después de morder a sus presas desarrollan una imagen específicamente química en la búsqueda de dichas presas mordidas y utilizan esta información para realizar un seguimiento hasta donde se encuentren dichas presas (Kardong y Smith 2002), lo que es descrito como BQIM (búsqueda quimiosensitiva inducida por la mordida). Algunos autores sugieren que las señales químicas captadas por los vipéridos en este proceso de búsqueda son producidas por las presas, por ejemplo, el aroma, la orina o las feromonas de alarma, sin embargo, existen estudios que sugieren que las víboras son más sensibles a los estímulos químicos procedentes de tejidos de presas envenenadas que a las señales químicas producidas por la presa misma (Chiszar et al., 1992), algo que fue corroborado en el presente trabajo con *C. atrox*, al discriminar a las presas no envenenadas y seguir el rastro de aquellas presas que mordió con anterioridad, ignorando el aroma, la orina o las feromonas de alarma que desprendían los ratones no envenenados, esto a pesar de analizar los rastros de todos los ratones como se vio en los resultados de las conductas de Kardong y Smith en 2002, donde la serpiente analiza los distintos rastros y se decide por el realizado por la presa mordida con anterioridad.

Otros autores (Rivera, 2002; Kardong y Smith, 2002; Saviola *et al.*, 2012) han reportado un incremento de protusiones linguales en distintas especies de vipéridos ante la presencia de un estímulo químico de una posible presa a cuando no existe dicho estímulo, algo que también se confirmó en el presente estudio. Rivera-Velázquez en 2002, comprobó que *Agkistrodon b. bilineatus* tiene un aumento en el número de protusiones linguales una vez que registra un estímulo químico a través de morder a la presa, esto en comparación de cuando no hay dicho estímulo. Uno de los resultados de Kardong y Smith en 2002, demuestra que las protusiones linguales en los géneros *Crotalus* y *Sistrurus*, son mayores una vez que mordieron a su presa y comenzaron a rastrear, esto en comparación con las protusiones linguales obtenidas antes de la mordida. Por otro lado, Saviola y colaboradores en el 2012, encontraron que las protusiones linguales de *Crotalus viridis viridis* aumentan cuando son expuestas a frotis de la presa preferida según la etapa de vida, esto en contraste con los controles (sin frotis y frotis solo con agua destilada), cabe resaltar que las serpientes utilizadas para dicho experimento fueron capturadas directamente de vida silvestre, mientras que las utilizadas en este estudio han estado por más de 2 años en cautiverio, lo que indica que son comportamientos inalterables.

En el presente estudio se pudo observar una menor cantidad de protusiones linguales por minuto cuando la búsqueda estaba intervenida por algún estímulo químico de un posible depredador (*L. polyzona*) a cuando no existe dicho estímulo, coincidiendo con los resultados de Raya-García, (2016), donde ambas especies de *Conopsis* utilizadas para dicho estudio tuvieron una menor cantidad de protusiones linguales promedio cuando eran expuestas ante un posible depredador (*Coluber mentovarius*) a diferencia de cuando son expuestas ante posibles presas. Por otra parte, López y Martín en 2001 encontraron que los anfisbaenos (*Blanus cinereus*) respondieron a las señales químicas aumentando la frecuencia de movimiento de la lengua, y las tasas más altas se dieron en respuesta a depredadores (la serpiente y al

ciempiés), lo que demuestra que eran capaces de detectar y discriminar los olores que surgen de especies potencialmente dañinas. Los anfisbenos mordieron o se retiraron de los aplicadores con olor a serpiente y ciempiés, mientras que el olor a eslizón no provocó respuestas defensivas. Además, mostraron más estrés y comportamientos antidepredadores, huyeron rápidamente y luego se volvieron menos móviles durante las pruebas con los olores de serpiente o ciempiés, pero produjeron diferentes complejos de respuestas defensivas para cada uno. A diferencia de Lopez y Martin (2001), en este estudio se obtuvo una respuesta de menor intensidad (menos protusiones linguales) ante la presencia química de un posible depredador comparado cuando no lo hay. Las conductas antidepredatorias, como huir rápidamente y posteriormente quedarse más tiempo inmóviles en comparación a otros experimentos son prácticamente iguales que los reportados por López y Martin en 2001 y por Cabidos y colaboradores en 2011, donde se vieron estas mismas acciones después de enfrentar a un lagarto semifosorial sin patas (*Anguis fragilis*) ante el olor de una culebra lisa (*Coronella austriaca*), un depredador simpátrico, la culebra (*Natrix natrix*), un depredador simpátrico pero no saurófago, y el eslizón de tres dedos (*Chalcides striatus*), un eslizón insectívoro simpátrico y, por tanto, inocuo. Con respecto a otros tipos de lagartos, Mori y Hasegawa en 1999, compararon las respuestas antidepredatorias y de movimiento de lengua de crías de *Eumeces okadae* entre la isla Kozu-shima, donde coexisten con serpientes que los depredan, y Hachijo-kojima, una isla libre de serpientes. Con base en la mayor frecuencia de ondas de la cola y las menores tasas de movimiento de la lengua en los lagartos de Kozu-shima que en los lagartos de Hachijo-kojima, los autores plantearon la hipótesis de que los lagartos de Kozu-shima han desarrollado la capacidad de reconocer señales químicas de los depredadores de serpientes después de algunos movimientos de la lengua y que las tasas más altas de movimientos de lengua por parte de los lagartos de Hachijo-kojima indican un reconocimiento menos eficiente o una falta de reconocimiento de las sustancias químicas de los depredadores. Con base en los resultados en *Eumeces okadae* encontrados por Mori y Hasegawa (1999), podemos plantear la hipótesis de que las bajas protusiones linguales y la tendencia a la huida por parte de *C. atrox* es por reconocer el aroma del depredador al haber estado en vida silvestre en algún momento de su vida, pero no se descarta la carga genética y la posibilidad de que sea una conducta heredada.

Luiselli, (2006 b), revisó los artículos publicados en las últimas dos décadas con el objetivo de encontrar patrones geográficos o gremiales generales y evaluar si era verdadera la conclusión principal de Toft (1985), la cual dice que las serpientes eran atípicas entre los vertebrados dado que las especies simpátricas suelen dividir el nicho alimentario. Dicho estudio concluyó que, aunque hay varias excepciones notables, la conclusión principal de Toft (1985) todavía está respaldada por evidencia empírica. Relacionado a lo anterior, Luiselli, (2006 a), buscó las relaciones interespecíficas entre dos especies de serpientes de agua afrotropicales simpátricas (*Grayia Smythii* y *Afonatrix anoscopus*) en relación con un recurso alimentario el cual fluctúa estacionalmente. En ambas especies la dieta consistía en una gran variedad de diferentes especies de anfibios y peces similares, pero a pesar de esto no se observó competencia por interferencia directa. De acuerdo a los estudios descritos anteriormente, al comienzo de los experimentos ante un posible competidor, *C. atrox* presentó comportamientos similares ante *C. molossus* a los vistos en los experimentos con *L. polyzona*, pero después de un tiempo de entrar y salir del bote realizaba la búsqueda con normalidad, esto coincidiendo con Luiselli (2006 a y b), infiriendo así que *C. atrox* no presenta una competencia directa con *C. molossus* y pueden dividir el nicho alimentario.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a lo observado y obtenido en los resultados, se puede concluir que:

- *Crotalus atrox* presenta una conducta de búsqueda quimiosensitiva inducida por la mordida.
- Existen diferencias significativas entre el número de protusiones linguales en cada uno de los experimentos (con mordida, sin mordida, con un posible depredador y con un posible competidor)
- El tiempo no es un factor determinante para el número de protusiones linguales, sino la exposición a otros organismos como presas, depredadores o competidores.
- Las protusiones linguales son mayores cuando *C. atrox* se enfrenta a una posible presa en comparación de cuando se enfrenta a un posible competidor o a un posible depredador.
- Se observaron conductas de búsquedas similares o iguales a las descritas por otros autores para otras especies de serpientes o lagartos, cabe resaltar que, a diferencia de los organismos utilizados para este trabajo, todas las especies utilizadas por otros autores son capturadas de vida libre, lo cual puede indicar que no se modifica demasiado esta conducta en cautiverio.
- La conducta de seguimiento fue igual a la reportada por otros autores, sobre todo Kardong y Smith 2002.
- *C. atrox* presenta un descarte significativo de presas no envenenadas, frente aquellas envenenadas por su mordida.

## LITERATURA CITADA

- A. Gatica. 2009. Serpientes de cascabel: percepción por algunos pobladores del desierto chihuahuense en el estado Chihuahua. *Revista Latinoamericana De Recursos Naturales*. 5(3):198-204.
- A. García. 2018. *Fisiología Veterinaria*. Tema 11: quimiorrecepción. 175-190.
- Balderas C. J., Barreto D., & C. A. Madrid. 2009. Contribución a la historia natural de *Crotalus molossus*. *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM, México, DF, 363-369.
- Benítez Gálvez, 1997. Los ofidios de Puebla. Capitulo IX: Puebla y la ofidiofauna. Puebla, México.
- Beck, D. D. 1995. Ecology and energetic of three sympatric rattlesnake species in the Sonora Desert. *Journal of Herpetology*. 29(2): 211-223.
- Cabido C., Gonzalo A., Galán P., Martín J. y López P. 2011. El reconocimiento quimiosensorial de depredadores induce un comportamiento defensivo en el gusano lento (*Anguis fragilis*). *Revista Canadiense de Zoología*. 82(3):510-515
- Cabral R. 2001. Serpientes Peçonhentas Brasileiras: Manual de identificación, prevención y procedimientos en casos de accidentes. Editorial Atheneu. Sao Paulo, Brasil.
- Campbell J. A & W. W. Lamar. 2004. The venomous reptiles of the Western Hemisphere. *The Herpetology sleaguem*. Museum Natural History. 1(2).
- Castañeda J. C., Morales J. E. & L. T. Hernandez. 2012. La Comunicación De Las Serpientes. *CONABIO. Biodiversitas*, 102:12-16.
- Chambers E. A. & D. M. Hillis. 2020. The multispecies coalescent over-splits species in the case of geographically widespread taxa. *Systematic Biology*. 69:184-193.
- Chiszar, D., R.K.K. Lee, H.M. Smith and C.W. Radcliffe. 1992. Searching behaviors by rattlesnakes following predatory strikes. *Biology of the pit vipers* (Campbell JA, Brodie ED Jr, eds). Tyler, Texas: Selva; 369-382.
- E. Greenbaum. 2004. The influence of presa-scentstimulion predatory behavior of the North American copperhead *Agkistrodon contortrix* (Serpentes: *Viperidae*). *Behavioral Ecology*. 15(2):345–350
- E. Raya. 2016. Respuesta quimiosensorial y aspectos reproductivos en serpientes *Conopsis*. Capitulo II: Discriminación química de presas como indicadores de preferencia en dos serpientes simpátricas del género *Conopsis*. 31-91.

G. Fuentes. 2014. La serpiente de cascabel como recurso zoogenético. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*. 4:303-304.

Kardong, K.V. and T.L. Smith. 2002. Proximate factors involved in rattlesnake predatory behavior: a review. *Biology of the vipers* (Schuett GW, Höggren M, Douglas ME, Greene HW, eds). Eagle Mountain, Utah: Eagle Mountain Publishing; 253-266.

Lazcano D., Banda J., & J. Galván. 2010. *Serpientes de Nuevo León*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. 502 pp.

López P., Martín J. 2001. Chemosensory predator recognition induces specific defensive behaviours in a fossorial amphisbaenian, *Animal Behaviour*. 62(2):259-264.

Luiselli, L. 2006(a). Interspecific relationships between two species of sympatric Afrotropical water snake in relation to a seasonally fluctuating food resource. *Journal of Tropical Ecology*, 22(1), 91-100.

Luiselli, L. 2006(b). Resource partitioning and interspecific competition in snakes: the search for general geographical and guild patterns. *Oikos*, 114(2), 193-211.

Martínez A., Ubeda I., Lanuza E., & M. Halpern. 2005. Eferent Connections of the 'Olfactostriatum': A Specialized Vomeronasal Structure with in the Basal Ganglio of Snakes. *Journal of Chemical Neuroanatomy* 29(3): 217-26.

Mori, A. y Hasegawa, M. 1999. Diferencias geográficas en las respuestas de comportamiento de las crías de lagartos (*Eumeces okadae*) a las sustancias químicas de los depredadores de serpientes. *Revista japonesa de herpetología*, 18 (2), 45-56.

Neri E. E., Bénard M. & A. Alagón 2014. *Reptiles Venenosos*. Revista digital universitaria. (15)11.

Neri E. E., Bénard M., Gil G., Borja M., Lopez J. y A. Alagon. 2022. Serpientes venenosas de México: Una revisión al estudio de los venenos, los antivenenos y la epidemiología. *Revista latinoamericana de herpetología*. (3)2.

Paredes D. M., Ramírez A., & M. A. Martínez. 2011. Distribución y representatividad de las especies del género *Crotalus* en las áreas naturales protegidas de México. *Revista mexicana de biodiversidad*. 82(2):689-700.

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). 2020. Presencia de Reptiles en México. México. Consultado el 25 de abril de 2023, en: <https://www.gob.mx/profepa/articulos/presencia-de-reptiles-en-mexico?idiom=es>

Ruane, S., Bryson R. W., Pyron R. A. & F.T. Burbrink. 2014. Coalescent species delimitation in milksnakes (*Genus Lampropeltis*) and impacts on phylogenetic comparative analyses. *Systematic Biology* 63:231-250.

R. C. Goris. 2011. Infrared Organs of Snakes: An Integral Part of Vision. *Journal Herpetology*. 45:2-14

Saviola, J. A., Chiszar D., Bealor M.T. and Smith H.M. 2010. Response of Western Diamond back Rattlesnakes (*Crotalus atrox*) to Chemical Cues of Mice (*Mus musculus*) of Different Genders and Reproductive Status. *The Psychological Record* 60: 217-226.

Saviola J. A., Chiszar D. & S. P. Mackessy. 2012. Ontogenetic shift in response to preyderived chemical cues in prairie rattlesnakes *Crotalus viridis viridis*. *Zoología actual*. 58(4):549–555.

SEMARNAT. 2018. Programa de acción para la conservación de las especies: Serpientes de cascabel (*Crotalus spp.*). SEMARNAT/CONANP, México. 144 pp.

Toft, C. A. 1985. Resource partitioning in amphibians and reptiles. *Copeia* 1985: 1–21.

Uetz, P., Freed, P, Aguilar, R., Reyes, F. & Hošek, J. 2023. The Reptile Database. Consultado el 25 de abril de 2023, en: <http://www.reptile-database.org>

Vitt, L. J., & J. P. Caldwell. 2014. *Herpetology: an introductory biology of amphibians and reptiles*. 776 pp.

V. R. Rivera 2002. Contribución al conocimiento de la quimiorrecepción en la conducta alimentaria de la serpiente *Agkistrodon b. bilineatus*. Tesis de Licenciatura, México; Edo. Mex., Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. 28pp.

V. Vásquez. 2020. New prey records for the Atlantic Central American Milksnake *Lampropeltis polyzona* (Serpentes: *Colubridae*). *Phyllomedusa* 19:107-111.