

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**  
**SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

Comportamiento alimentario y toxicidad del veneno de la serpiente coral  
*Micrurus nigrocinctus nigrocinctus* (Serpentes: Elapidae) sobre sus presas  
naturales en cautiverio.

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios  
de Posgrado en Biología, para optar el grado de Magister Scientiae

Aldo Hiram Urdaneta Vaña

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2002

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Noris y Generoso (q.e.p.d.) que han sido y serán las piezas fundamentales en mi educación, gracias a ellos les dedico lo que me han enseñado y he aprendido. Fueron muchos los consejos que me brindaron durante mis años de estudios, además de su apoyo y confianza. Al igual a mi hermana Maily que siempre la escuché cuando me aconsejaba, su apoyo moral y profesional fueron de gran valor, del mismo modo a Clifton y mi sobrina María Cristina. A mi compadre y tío Humberto le quiero decir que ya terminé, no podrá preguntar más “cuando va a terminar la tesis compadre”, gracias por toda su ayuda.

Por último, a mi esposa Rocio y a mi hija Ana Paola quienes me han entregado todo su amor, comprensión, paciencia y apoyo a este herpetólogo quien se dedicó a estudiar la vida privada de las serpientes corales.

## **AGRADECIMIENTOS**

Es de gran satisfacción decir por fin he terminado mi trabajo de investigación. Sin embargo, este no hubiera sido posible sin la ayuda de aquellas personas que de alguna u otra manera colaboraron en la culminación de ésta.

En primer lugar, quiero agradecer al Prof. Federico Bolaños Vives M.Sc. por haberme aceptado como su estudiante en el posgrado de Biología y por dirigir y asesorar esta tesis. Su ayuda, entrega, calma y dedicación han sido incalculables para lograr este objetivo. De igual manera al Prof. José M. Mora Ph.D. quien me facilitó muchas referencias y a la vez me orientó y revisó el trabajo de investigación.

Durante los años 1995-1998 el financiamiento de mis estudios y de mi investigación fue otorgado por el Servicio Alemán de Intercambio Académico (D.A.A.D.). En especial quiero agradecer enormemente a la Directora Regional Dra. Martina Schulze, al igual que la coordinadora del Programa Regional Neddy Zamora y a todo el personal administrativo de esta institución.

A la señora Patricia Zuñiga y familia con quienes compartí por dos años en su casa momentos que no olvidaré jamás. Al señor Gerardo Serrano quien me dió hospedaje en su casa y me enseñó a manejar serpientes e incluso a extraerles sus venenos. Estando en su casa me sentía como si estuviera en la mía. Conocí a su esposa Doña Bety y a sus hijos Daniel, Agueda, Ricardo y Nathalia quienes entregaron toda su amistad, amor y cariño a este culebrero (como muchos me llamaban) y a mi esposa e hija; esta última ellos la chinearón mucho.

Martín Sequeira fue la persona clave que me ayudó a conseguir las culebras minadoras las cuales fueron la base de mi tesis. Él tenía un olfato y tacto muy bien desarrollado para localizar y atrapar estas culebras en sus hábitats naturales. Recuerdo que en varias ocasiones salí con su hijo a

buscar estos reptiles y prometí no hacerlo más, pues cierto día después de haber excavado seis horas con pala solamente logramos encontrar cuatro individuos. Esto más bien para mí representaba un costo y no un beneficio en términos energéticos.

Nunca me había sentido tan cómodo en una institución de gran prestigio y reconocida internacionalmente, me refiero al Instituto Clodomiro Picado. Allí conocí a un grupo de personas que siempre de una forma desinteresada me ofrecieron todos sus conocimientos y experiencia en el campo de la investigación. Entre ellas el Dr. José María Gutiérrez figura distinguida y eminente investigador el cual me dirigió prácticamente toda mi fase experimental en el instituto. Su experiencia, gran capacidad para resolver problemas y conocimientos fue de gran valor para culminar mi investigación.

Por otra parte, quiero agradecer al Dr. Gustavo Rojas toda su meritoria ayuda durante mi estadía en el ICP. Al igual al biólogo Rodrigo Aymerich quién coordinó mis giras y actividades, aparte de brindarme todos sus conocimientos acerca del mundo de las serpientes y haberme facilitado algunas referencias para ilustrar mi trabajo de investigación. Al compañero Danilo le agradezco que me haya instruido al manejo y extracción de veneno de serpientes en cautiverio.

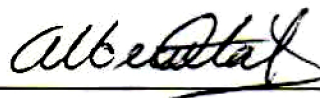
El Dr. Fernando Chaves en algunas ocasiones se ofreció a ayudarme a realizar mis pruebas de letalidad, a parte de ofrecerme literatura, a él muchas gracias. De la misma manera al Dr. Alberto Alape por la revisión y sugerencias en esta investigación. A Javier quien me ayudó en la parte de histología y toma y revelado de las fotos que les presento. También a Yamileth y Alexandra por haberme enseñado algunas técnicas de electroforesis, al igual a Eduardo quien me brindó sus conocimientos en pruebas de control de calidad.

A mis grandes amigos James y Carlos quienes siempre me brindaron su ayuda, apoyo y buenos consejos. Gracias por aquellas pachangas, cervezas, desayunos y almuerzos los cuales convivimos juntos.

Por último a Víctor Martínez C. M.Sc., Angel Vega M.Sc. y Lubianka Katsuda M.Sc. por ayudarme e incentivarme a que siguiera superándome en una prestigiosa universidad en la cual ellos estudiaron, la Universidad de Costa Rica. Al herpetólogo Harry Greene le agradezco por apoyarme con algunas referencias que fueron de gran utilidad para presentarle este trabajo.

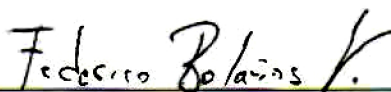
“Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Biología de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado de Magister Scientiae”

Representante de la  
Decana del SEP



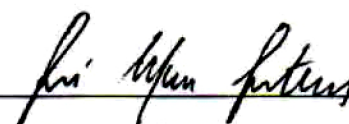
Alberto Alape Girón, Ph.D.

Director de Tesis



Federico Bolaños Vives, M.Sc.

Asesor



José María Gutiérrez Gutiérrez Ph.D.

Asesor



José Manuel Mora Benavides, Ph.D.

Representante del Director  
del Programa de Posgrado  
en Biología



Gilberto Barrantes Montero, Ph.D.

Candidato



Aldo Hiram Urdaneta Vaña

## INDICE

	PAG
Dedicatoria .....	11
Agradecimientos .....	111
Hoja de aprobación .....	VI
Indice .....	VII
Prefacio .....	IX
Resumen .....	X
Lista de Tablas .....	XII
Lista de Figuras.....	XIII
Introducción .....	XVI
Capítulo 1. Comportamiento alimentario de la serpiente coral <i>Micrurus nigrocinctus nigrocinctus</i> (Serpentes: Elapidae) en cautiverio.....	1
Resumen.....	1
Introducción .....	2
Material y Métodos.....	6
Resultados.....	9
Búsqueda de la presa .....	9
Captura y paralización .....	10
Pre-ingestión .....	13
Ingestión.....	15
Digestión .....	16
Discusión .....	16
Literatura Citada .....	20

Capítulo 2. Toxicidad del veneno de la serpiente coral <i>Micrurus nigrocinctus nigrocinctus</i> (Serpentes: Elapidae)	
sobre sus presas naturales .....	24
Resumen .....	24
Introducción.....	25
Material y Métodos .....	28
Resultados .....	29
Letalidad .....	29
Observaciones macroscópicas.....	30
Observaciones hitológicas.....	30
Músculo esquelético intercostal.....	30
Músculo cardíaco .....	34
Pulmón .....	34
Discusión .....	38
Literatura Citada .....	42
Capítulo 3. Conclusiones .....	47



## **PREFACIO**

La tesis ha sido escrita siguiendo el formato del Reglamento de Tesis del Sistema de Estudios de Posgrado en Biología de la Universidad de Costa Rica. Está dividida en tres capítulos, los dos primeros están escritos con formatos de artículos para su futura publicación.

## RESUMEN

**Urdaneta Vaña, Aldo Hiram**

**Comportamiento alimentario de la serpiente coral *Micrurus nigrocinctus nigrocinctus* (Serpentes: Elapidae) sobre sus presas naturales en cautiverio.**

**Tesis de Posgrado en Biología. San José, Costa Rica.**

**A. H. Urdaneta V., 2002.**

**48 h.: 21 il.-72 refs.**

El comportamiento alimentario y la toxicidad del veneno de la serpiente coral, *Micrurus n. nigrocinctus* sobre sus presas naturales fue estudiado en cautiverio durante un año. Se demostró que este elápidio utilizó una serie de arreglos para encontrar, localizar y capturar a sus presas en donde la visión y el olfato juegan un papel muy importante. Frecuentemente la presa fue capturada y tragada por la cabeza un modelo de comportamiento utilizado por otros miembros de la familia Elapidae. Una combinación de elementos que van de simples a complejos utilizó esta serpiente coral para dominar y manipular a la presa, en donde el veneno fue de vital importancia en la inmovilización de la misma. Sin embargo, el veneno no ayudó mucho en la digestión de la presa como en vipéridos.

Además, se describe la toxicidad del veneno de esta serpiente sobre algunas de sus presas naturales demostrándose que hay diferencias evidentes entre ellas en cuanto a la susceptibilidad al veneno. La resistencia al veneno neurotóxico pueden deberse a la presencia de factores séricos neutralizantes o a cambios en la estructura del receptor de acetilcolina. La presa sucumbe al veneno debido a una parálisis de los músculos que participan en la respiración, mientras que una evidente mionecrosis y edema en el sitio de la mordida se observó. Sin embargo, no se observó cambios histológicos en corazón y pulmón, excepto en algunos

cortes histológicos de este último órgano los cuales demostraron una leve hemorragia.

**Palabras claves:** Comportamiento alimentario, *Micrurus nigrocinctus nigrocinctus*, *Geophis godmani*, venenos, miotoxicidad, neurotoxicidad.

**Director de la investigación:** Federico Bolaños Vives M.Sc.

**Unidad académica:** Sistema de Estudios de Posgrado, Escuela de Biología.

## LISTA DE TABLAS

### Capítulo 2.

Tabla No.	PAG
2.1. Efecto letal del veneno de <i>Micrurus n. nigrocinctus</i> sobre tres especies de colúbridos que forman parte de su dieta.....	30
2.2. Efectos locales inducidos por el veneno de <i>Micrurus n. nigrocinctus</i> en <i>Geophis godmani</i> . Dosis subletal de 40 µg. ....	33
2.3. Efectos locales inducidos por el veneno de <i>Micrurus n. nigrocinctus</i> en <i>Geophis godmani</i> . Dosis letal de 100 µg. ....	33

## LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1.	PAG
Figura No.	
1.1. Esquema que presenta las diferentes partes del cuerpo de la presa donde posiblemente la coral <i>Micrurus n. nigrocinctus</i> la captura al momento del ataque. ....	8
1.2. Número de pruebas por estrategias de caza que utiliza <i>Micrurus n. nigrocinctus</i> , según el tratamiento .....	9
1.3. Número de pruebas por estrategias de caza que utiliza <i>Micrurus n. nigrocinctus</i> , según el sexo .....	10
1.4. Número de pruebas por regiones de captura de la presa en <i>Micrurus n. nigrocinctus</i> , según el tratamiento.....	10
1.5. Número de pruebas por regiones de captura de la presa en <i>Micrurus n. nigrocinctus</i> , según el sexo .....	11
1.6. Número de pruebas por mecanismos que utiliza para paralizar a su presa <i>Micrurus n. nigrocinctus</i> , según el tratamiento .....	11
1.7. Número de pruebas por mecanismos que utiliza para paralizar a su presa <i>Micrurus n. nigrocinctus</i> , según el sexo .....	12
1.8. Número de pruebas por sitios que utiliza para paralizar a su presa <i>Micrurus n. nigrocinctus</i> , según el tratamiento .....	12

1.9. Número de pruebas por sitios que utiliza para paralizar a su presa <i>Micrurus n. nigrocinctus</i> , según el sexo .....	13
1.10. Número de pruebas por regiones que se dirige para iniciar la ingestión de la presa <i>Micrurus n. nigrocinctus</i> , según el tratamiento.....	14
1.11. Número de pruebas por regiones que se dirige para iniciar la ingestión de la presa <i>Micrurus n. nigrocinctus</i> , según el sexo .....	14
1.12. Relación entre el tiempo de ingestión (TI) y la longitud total de la presa (LTP) en la serpiente coral <i>Micrurus n. nigrocinctus</i> .....	15
1.13. Relación entre la velocidad de digestión (VD) y la masa de la presa (MP) en la serpiente coral <i>Micrurus n. nigrocinctus</i> .....	16

## Capítulo 2.

### Figura No.

2.1. Micrografía de luz de una sección de tejido muscular (músculos intercostales) de <i>Geophis godmani</i> 4 horas después de la inyección subcutánea de 100 µl de solución salina. ....	31
2.2. Micrografía de luz de una sección de tejido muscular (músculos intercostales) de <i>Geophis godmani</i> 4 horas después de la inyección subcutánea de 40 µg de veneno de <i>Micrurus n. nigrocinctus</i> , diluído en 100 µl de solución salina. ....	32
2.3. Micrografía de luz de una sección de músculo cardíaco de <i>Geophis godmani</i> 4 horas después de la inyección subcutánea de 100 µg veneno de <i>Micrurus n. nigrocinctus</i> , diluído en 100 µl de solución salina. ....	35

2.4. Micrografía de luz de una sección de tejido pulmonar de <i>Geophis godmani</i> 4 horas de la inyección subcutánea de 100 $\mu$ l de solución salina. ....	36
2.5. Micrografía de luz de una sección de tejido pulmonar de <i>Geophis godmani</i> 4 horas después de la inyección subcutánea de 100 $\mu$ g de veneno de <i>Micrurus n. nigrocinctus</i> , diluido en 100 $\mu$ l de solución salina. ....	37

## INTRODUCCION

Al igual que otros animales de caza, las serpientes en la naturaleza son excelentes depredadores. A través de sus etapas evolutivas, ellas para atrapar a sus presas han desarrollado dos métodos de caza: la búsqueda activa y el acecho; mientras que para inmovilizarlas la constricción, el veneno o una combinación de ambas técnicas son utilizadas.

Algunas especies de la familia Boidae y Colubridae que carecen de glándulas productoras de secreciones tóxicas utilizan la constricción para someter a sus presas. Los músculos del cuerpo se encargan de contraerse, a la vez que ejercen una fuerte presión sobre la presa hasta que finalmente muere.

Hasta cierto punto, unas pocas especies de colúbridos, son venenosas. La saliva tóxica elaborada en la glándula de Duvernoy es liberada a través de unos dientes alargados con surcos situados en la parte posterior de la boca. La saliva tóxica tienen como función paralizar a la presa y en algunos casos ayudan acelerar la digestión.

En las serpientes avanzadas, tales como aquellas pertenecientes a la Familia Elapidae y Viperidae, las secreciones tóxicas han evolucionado en una forma poderosa de veneno, para inmovilizar eficazmente a la presa. El aparato venenoso consiste de un par de glándulas situadas a cada lado en la parte superior de la cabeza las cuales secretan y almacenan veneno que es expulsado a través de un conducto hasta el colmillo. El veneno es una mezcla de proteínas que a parte de ayudar a paralizar a la presa puede servir en la digestión de la misma.

Los venenos de la mayoría de las especies de la familia Viperidae producen un cuadro muy severo y complejo en el sitio de la mordedura. Efectos locales tales como fuerte dolor, hinchazón, hemorragia y destrucción del tejido son eminentes, como también de tipo sistémico, entre estos hemorragias (que implican ruptura de los vasos sanguíneos),



hemólisis intravascular, nefrotoxicidad, alteraciones en la coagulación sanguínea y choque cardiovascular.

Por el contrario, los efectos locales inducidos por el envenenamiento de los miembros de la familia Elapidae no son muy evidentes, aunque en algunos casos puede presentarse un ligero edema y dolor poco intenso. El veneno tiene componentes que actúan en la unión neuromuscular, sitios donde los nervios se unen a los músculos induciendo un bloqueo del impulso nervioso, el cual se manifiesta como una parálisis. A pesar de considerarse los venenos de los elápidos particularmente neurotóxicos, en investigaciones recientes se ha encontrado que además producen lesiones de consideración en el tejido muscular produciendo una necrosis moderada. La mayoría de las víctimas mueren por parálisis respiratoria.

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar el comportamiento y toxicidad del veneno de la serpiente coral *Micrurus nigrocinctus nigrocinctus* sobre algunas presas naturales.

## Capítulo 1

### Comportamiento alimentario de la serpiente coral *Micrurus nigrocinctus nigrocinctus* (Serpentes: Elapidae) en cautiverio.

#### Resumen

Se presentan las primeras observaciones de comportamiento alimentario de la serpiente coral de Centro América, *Micrurus nigrocinctus nigrocinctus* en cautiverio. Esta serpiente utilizó la visión y la quimiorrecepción para buscar, localizar y capturar a sus presas naturales. Generalmente la presa fue capturada y tragada primero por la cabeza. En raras ocasiones, la presa fue liberada y relocalizada para empezar el proceso de ingestión. Al igual que la serpiente coral del este de los Estados Unidos, *Micrurus fulvius*, *Micrurus n. nigrocinctus* utilizó una combinación de elementos de un patrón simple parecido al de algunos colúbridos y algunos proteroglifos (muerde, sujeta e inmoviliza) con una serie más compleja parecida a otros proteroglifos y solenoglifos (ataca, muerde, inyecta veneno, libera, relocaliza y traga) para manipular la presa. Además, se encontró que el veneno parece no jugar un papel preponderante en la digestión de la presa, aunque sí en la inmovilización. Es muy posible que la poca cantidad de enzimas proteolíticas en esta especie de serpiente coral esté relacionada a su dieta, la cual se basa en serpientes u otros animales con una alta superficie de masa en relación con el volumen corporal.

## Introducción

En la naturaleza muchas serpientes buscan activamente su alimento y en la búsqueda pueden utilizar dos métodos de caza: ambular y accchar. El primero es típico de colúbridos y elápidos esbeltos, algunas veces de movimientos rápidos; el segundo es característico de pitones, boas, y vipéridos de cuerpo pesados (Greene, 1997).

Las serpientes ciegas, *Loxocemus bicolor*, muchos colúbridos y elápidos de cuerpos pesados hasta moderadamente corpulentos, utilizan señales químicas y visuales para localizar a la presa (Greene, 1997). La serpiente lora (*Leptophis ahetulla*) explora bromelias que pueden refugiar ranas, y la serpiente coral arlequín (*Micrurus fulvius*) busca debajo de la hojarasca serpientes minadoras (Greene, 1997).

Aquellas serpientes de cuerpo pesado tales como boas, pitones y vipéridos probablemente son menos activas que muchos colúbridos y elápidos; atacan a sus presas desde un escondite (Greene, 1997). La serpiente mata buey, *Lachesis stenophrys*, se mantiene por varias semanas cazando roedores en un solo sitio, al lado de los rastros o huellas que dejan al pasar (Greene, 1986; 1997), mientras que la boa constrictora, *Boa constrictor*, puede esperar hasta cuatro días alerta en la entrada de las madrigueras de mamíferos (Greene, 1997).

Las serpientes utilizan dos métodos para la inmovilización de la presa, la constricción y la inyección del veneno o una combinación de ambos (Shine y Schwaner, 1985; Greene y Burghardt, 1978; Kardong 1980). Ellos reducen el riesgo de escape de la presa y evitan que el depredador sea herido en el combate.

La constricción es utilizada por las grandes boas y pitones, varios colúbridos y algunos elápidos. *Boa constrictor*, mata a sus víctimas por constricción, impidiéndoles respirar (Alvarez del Toro, 1982). La serpiente plana de Europa, *Coronella austriaca*, retiene a sus víctimas con una o dos

espiras alrededor de ella y la mantiene agarrada hasta que la deglución está bien avanzada; mientras que la serpiente trompa de elefante, *Acrochordus javanicus*, utiliza una combinación de constricción y su piel que asemeja papel de lija para atrapar y someter peces (Parker, 1977).

Algunos colúbridos combinan, la constricción y el veneno para someter presas grandes y potencialmente peligrosas. *Conopsis vittatus* y *Mastigodryas melanotomus* persiguen a sus presas velozmente y cuando las cogen las enrollan con sus cuerpos, a la vez que las muerden en distintas partes para inocularles sus salivas tóxicas que paralizan (Alvarez del Toro, 1982). Poseen un aparato venenoso, con dentición opistoglifa, típica de muchos colúbridos, con dos o tres dientes alargados y acanalados en la parte posterior de la maxila. Cerca de estos dientes desembocan unos conductos que transportan la saliva secretada por la glándula de Duvernoy que entra en la víctima por gravedad y capilaridad. Algunos colúbridos opistoglifos pueden matar más rápidamente a sus presas (p.e., *Thelotomis*, *Displolidus* y *Rhabdophis*) donde la secreción oral juega un papel similar al de muchos vipéridos y elápidos (Kardong, 1996).

Las toxinas de muchos colúbridos pueden ayudar en el proceso ingestivo y digestivo de sus presas. Por ejemplo, la serpiente ojo de gato, *Leptodeira septentrionalis*, tiene dificultad para tragar las patas pegajosas de la rana de ojos rojos, *Agalychnis callidryas*, pero sus salivas le permite un mejor tragado (Greene, 1997), mientras que la saliva tóxica de la serpiente corredora de Puerto Rico, *Alsophis portoricensis*, ayuda a inmovilizar y digerir lagartijas (Greene, 1997; Rodríguez-Robles, 1992). Rodríguez-Robles y Thomas (1992) sugirieron que el veneno de este colúbrido acelera la digestión.

La constricción es más común en especies de no venenosas que en venenosas (ver Greene y Burghardt, 1978). Sin embargo, algunos elápidos

de Australia utilizan la constricción y el veneno para inmovilizar y matar a sus presas naturales (ver Shine y Schwaner, 1985).

Los miembros de las familia Elapidae, Viperidae y algunos Atractaspididae poseen un especializado aparato del veneno utilizado para paralizar y matar a sus presas y secundariamente como un método de defensa. Sin embargo, éste presenta un grado de diferenciación en dichas familias. En los elápidos, con dentición proteroghífa, los colmillos son relativamente cortos, surcados profundamente o casi tubulares y se encuentran fijos en la parte anterior y cada lado de la maxila superior, la cual es corta. Cuando un elárido muerde una parte del músculo aductor superficial mandibular comprime la glándula expulsando el veneno hasta la base del colmillo, por medio de un conducto y allí se desliza a través del surco del colmillo y se introduce los tejidos de la presa.

El aparato venenoso de los vipéridos es más especializado que en colúbridos y elápidos. Con dentición solenoghífa, sus colmillos huecos y largos, permiten que el veneno sea inyectado profundamente dentro de la presa. Ellos se comunican por medio de unos conductos a la glándula del veneno que es de forma subtriangular y algo comprimida localizada en la región temporal de la cabeza. Para acomodarlos en la boca, la maxila, es rotada de tal manera que son doblados hacia atrás, a lo largo del techo de la boca, cuando no se usan (Greene, 1997). Su erección sucede cuando las serpientes abren su boca para morder a la víctima. En vipéridos, las enzimas proteolíticas y otras aceleran la digestión de la presa (Thomas y Pough, 1979). Las investigaciones realizadas por Reichert, (1936) en el vipérido, *Bothrops jaracussu*, y las de Thomas y Pough (1979) con la serpiente cascabel espalda de diamante, *Crotalus atrox*, demostraron que sus venenos aceleran la digestión de sus presas.

La familia Atractaspididae presenta todos los modelos de dentición y mecanismos de inyección del veneno. En *Atractaspis*, los colmillos están

fijados a la maxila, pero ésta junto con los huesos frontal y prefrontal les permiten cierto grado de movimiento, parecido al de una puñalada. Se piensa que esto es una adaptación para cazar en túneles y madrigueras (Greene, 1997). *Amblyodipsas*, *Chilorhinophis*, *Macrelaps* y *Xenocalamus* tienen una maxila corta, portando de tres hasta cinco dientes normales y un par de colmillos surcados justamente por debajo del ojo, mientras que los miembros de *Aparallactus*, poseen colmillos largos en la misma posición; en otras especies los colmillos no tienen surcos y en *A. modestus* carecen de colmillos surcados.

*Micrurus nigrocinctus* se encuentra desde el sur de Chiapas, América Central y en algunas de sus islas hasta el extremo noreste de Colombia (Campbell y Lamar, 1989; Roze, 1996). En Costa Rica se localiza en todo el país, a elevaciones que van desde el nivel del mar hasta unos 2000 m de altura (Greene y Seib, 1991; Chaves *et al.*, 1993). Se encuentra en una gran variedad de hábitats bosque lluvioso de tierra baja, bosque seco de tierra baja, bosque espinoso, bosque húmedo montano bajo y bosque seco montano bajo (Campbell y Lamar, 1989). Además se puede encontrar en áreas alteradas por el hombre (Roze, 1996).

Su veneno es neurotóxico y se distribuye vía linfática y hemática, llegando de esta manera a las uniones neuromusculares, produciendo un bloqueo sináptico (tipo presináptico). Como consecuencia desencadena una parálisis de diversos músculos, responsables de los signos y síntomas que caracterizan este tipo de envenenamiento (Gutiérrez, 1993). La parálisis de los músculos respiratorios es el causante principal de la muerte.

Generalmente es tricolorada con anillos negros, rojos y blancos o amarillos. Los machos tienen un promedio de longitud hocico-ano de 530.4 mm y una longitud total de 619 mm, mientras que las hembras muestran 588 y 641.7 mm (Solórzano y Cerdas, 1988).

La dieta de las corales consiste en vertebrados alargados, incluyendo anguilas simbránquidas, cecilias, lagartijas, anfisbaénidos y otras serpientes (Alvarez del Toro, 1982; Roze, 1982, 1996). Las presas registradas para 28 *Micrurus n. nigrocinctus* son una cecilia, dos huevos de reptil, cuatro lagartijas y veintidós serpientes (Greene, y Seib, 1991) estas últimas muy representadas por los géneros *Adelphicos*, *Geophis* y *Ninia*, todos habitantes comunes del mantillo del bosque y que se alimentan principalmente de lombrices (Greene, 1976; Seib, 1978; 1980).

Greene (1984) describió el comportamiento alimentario, la caracterización ecológica de los hábitos alimenticios y una serie de factores que afectaron la composición de la dieta en *Micrurus fulvius*. Roze (1982; 1996) revisa el comportamiento alimentario de las serpientes corales enfatizando sobre la búsqueda, el dominio y tragado de sus presas y otros mecanismos utilizados cuando se alimentan. Vitt y Hulse (1973) investigaron el contenido estomacal, el comportamiento alimentario y la preferencia hacia la presa en *Micruroides euryxanthus*.

Todo esto refleja que es necesario ampliar más nuestros conocimientos sobre este tópico, en especial aquellas interacciones depredador-presa, en las que se pueden incluir los mecanismos utilizados por la serpiente para la búsqueda, localización, paralización, ingestión y digestión de la presa. En este trabajo se estudian algunos patrones del comportamiento alimentario de la serpiente coral venenosa, *Micrurus n. nigrocinctus* en cautiverio para brindar un mejor conocimiento de la conducta alimentaria de esta especie.

## **Material y Métodos**

El estudio se realizó en el Instituto Clodomiro Picado localizado en Dulce Nombre en el Cantón de Coronado con corales, de las provincias de San José (Guadalupe, Curridabat, San Pedro, Escazú y Moravia), Alajuela

(San José, Orotina), Puntarenas, Guanacaste (Cañas), Heredia (Santo Domingo) y Cartago.

Se colocaron en cajas de madera divididas en dos (60.5 x 35.0 x 16.0 cm), cada una con un individuo. Se le suministró un bebedero plástico con agua de manera permanente. La temperatura ambiente fue de aproximadamente 25 °C.

Se utilizaron 39 individuos (20 hembras y 19 machos) que fueron pesados (en una balanza digital OHAUS modelo No. C505-S), medidos (con una cinta métrica) y sexados (manualmente ejerciendo presión hacia adelante con los dedos de la mano unos centímetros después del ano hasta observar si emergían los hemipenes). Para alimentarlas y ver el efecto que tiene el veneno en el comportamiento alimentario se le suministraron serpientes minadoras, *Geophis godmani* dentro de la caja, que fueron medidas, pesadas, sexadas y marcadas subcutáneamente en el dorso con hilo y aguja una cuenta plástica de color a 2 cm posterior al ano, de tal forma que al ser defecada se consideraba como el final de la digestión de esa presa. Cada individuo fue alimentado cinco veces, tres sin ordeñarlos y dos ordeñados, aunque solo 32 individuos se les hizo el tratamiento de ordeño. El periodo de experimentación duró aproximadamente un año. Los datos tomados desde que se liberó la presa hasta que la ingirió fueron: estrategia de caza (búsqueda y acecho), donde capturó la presa (Fig. 1.1), el tiempo de paralización de la presa (desde que la muerde hasta que la presa está inmóvil y cuando cesan los movimientos de la cabeza y cola), si la presa se paraliza en el sitio donde mordió la primera vez o si se dirigen hacia otro sitio (cabeza), si se dirige hacia la cabeza o cola para iniciar el tragado y el tiempo de ingestión (desde que comienza a tragar la presa hasta que la ingirió). El tiempo de digestión, se midió en días desde que tragó la presa hasta que la marca fue defecada.



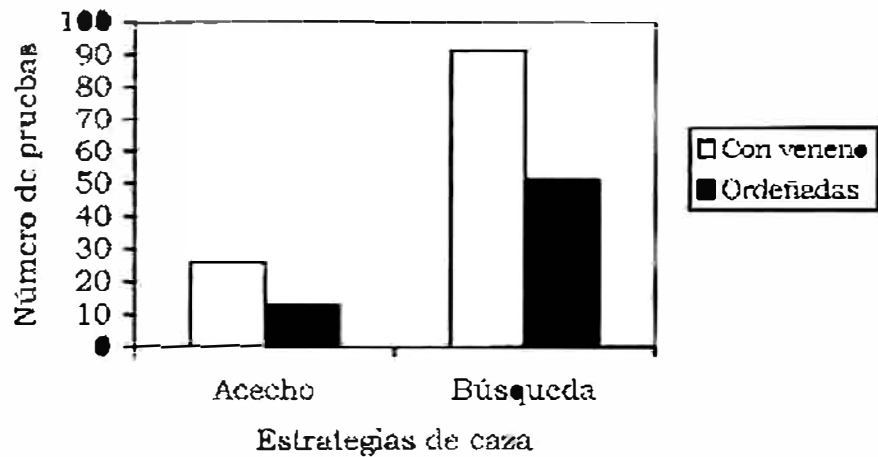


**Fig. 1.1.** Esquema que representa las diferentes partes del cuerpo de la presa donde posiblemente la coral *Micnurus n. nigrocinctus* la capture al momento del ataque. CA (cabeza), MA (media anterior), MP (media posterior) y CO (cola).

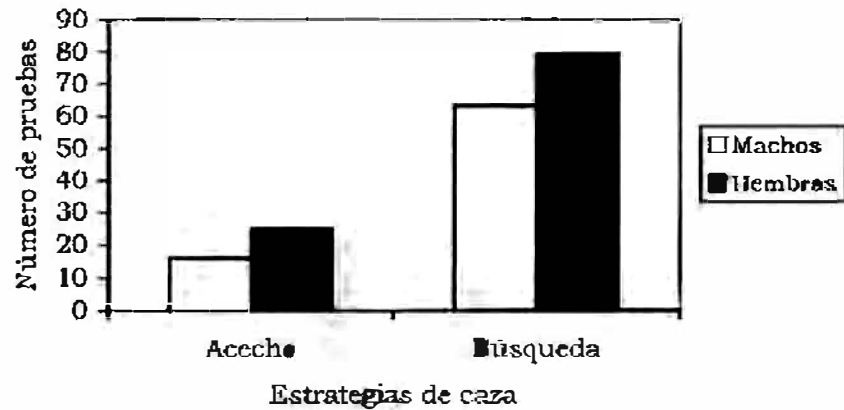
El análisis estadístico consistió en pruebas de homogeneidad para ver los efectos de tratamientos (sí o no ordeñadas) y de sexo de la coral para todos los datos de clasificación (estrategia de caza, región de captura, paralización desde el sitio de captura, si suelta o no la presa después de la mordida y se dirigen a la cabeza o a la cola para ingerir). En relación al tiempo de paralización, ingestión y digestión, se compararon los tratamientos, pero controlando los efectos del individuo de la coral y el número de alimentación como factor anidado en un ANDEVA de tres vías. Finalmente se utilizó una regresión lineal simple para analizar la relación entre el tiempo de ingestión y la longitud de la presa y entre la velocidad de digestión y la masa de la presa.

## Resultados

**Búsqueda de la presa.** Las corales cautivas capturan a sus presas utilizando una de dos estrategias de caza, la búsqueda activa o acecho. En la primera se arrastran lentamente moviendo sus cabezas a ambos lados y sacando repetidamente su lengua, hasta encontrar a la presa. Cuando acechan se quedan quietas hasta que la presa está cerca de ellas y la capturan. Del total de 181 pruebas realizadas, el 78.4% buscó a sus presas, mientras que el 21.6% prefirió el acecho ( $\chi^2=58.62$ ,  $g.l.=1$ ,  $P < 0.001$ ). Si se compara el número de veces que hicieron cada estrategia, no se observan diferencias entre las corales con veneno o sin veneno ( $\chi^2=0.09$ ,  $g.l.=1$ ,  $P = 0.764$ , Fig. 1.2), ni entre sexos ( $\chi^2=0.90$ ,  $g.l.=1$ ,  $P = 0.343$ , Fig. 1.3).

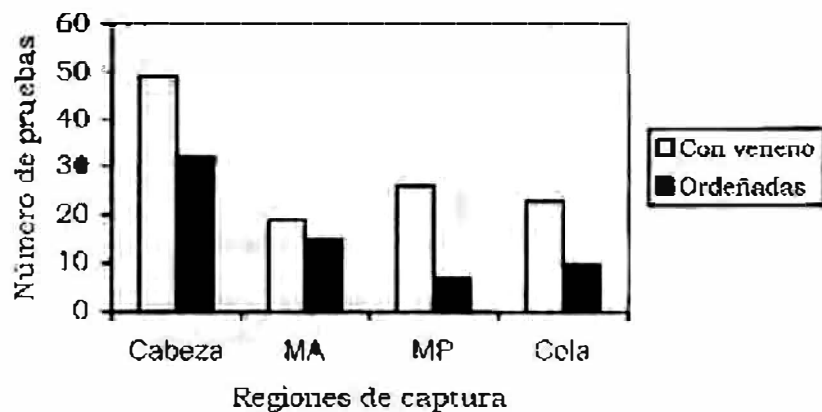


**Fig. 1.2.** Número de pruebas por estrategias de caza que utiliza *Micrurus n. nigrocinctus*, según el tratamiento.

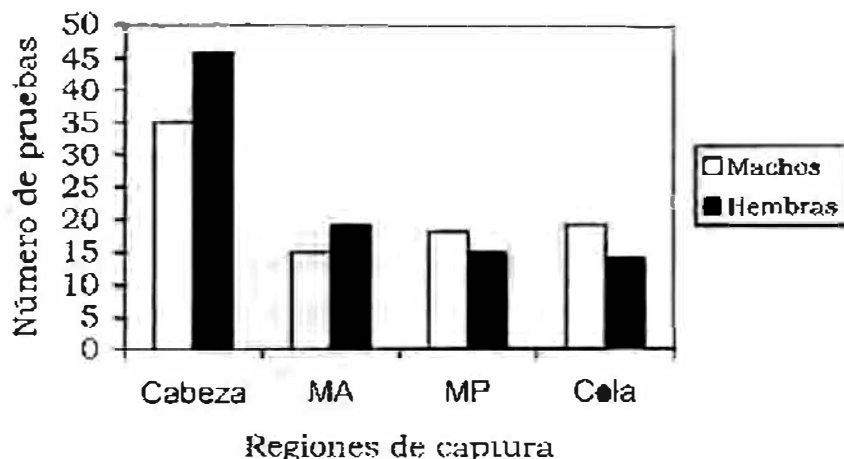


**Fig. 1.3.** Número de pruebas por estrategias de caza que utiliza *Micrurus n. nigrocinctus*, según el sexo.

**Captura y paralización.** Una vez localizada la presa, las corales se acercan a una distancia de 1-3 cm donde inician el ataque. Ellas atrapan en la misma región del cuerpo cuando tienen veneno o no ( $X^2 = 5.01$ ,  $g.l.=3$ ,  $P = 0.171$ , Fig. 1.4) siendo la cabeza de la presa el sitio preferido para morder ( $X^2=37.67$ ,  $g.l. = 3$ ,  $P < 0.001$ ) con 44.8% de los individuos, sin que existan diferencias entre los sexos ( $X^2=2.48$ ,  $g.l. = 3$ ,  $P = 0.479$ , Fig. 1.5).

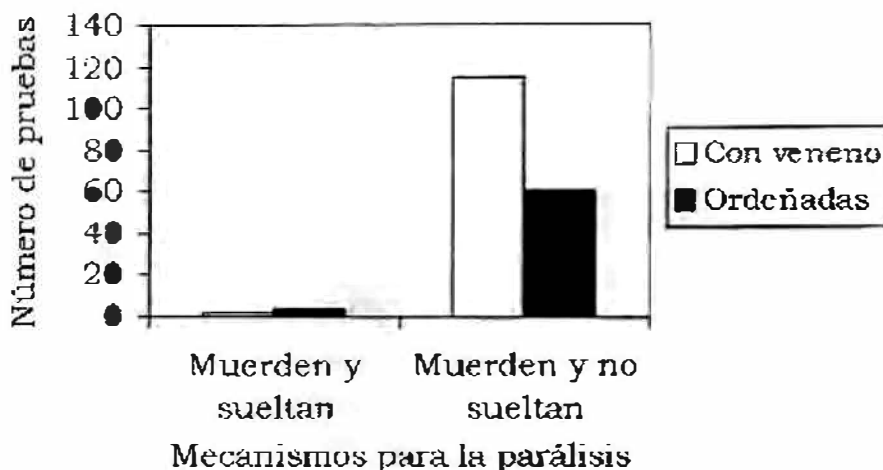


**Fig. 1.4.** Número de pruebas por regiones de captura de la presa en *Micrurus n. nigrocinctus*, según el tratamiento.



**Fig. 1.5.** Número de pruebas por regiones de captura de la presa en *Micrurus n. nigrocinctus*, según el sexo.

En ambos tratamientos las serpientes se comportan igual al capturar a su presa ( $X^2 = 2.66$ ,  $g.l. = 1$ ,  $P = 0.103$ ), con un 96.7% de los individuos que muerde y no la suelta ( $X^2 = 157.80$ ,  $g.l. = 1$ ,  $P < 0.001$ , Fig. 1.6) sin notar diferencias entre los sexos para las estrategias ( $X^2 = 0.54$ ,  $g.l. = 1$ ,  $P = 0.462$ , Fig. 1.7).

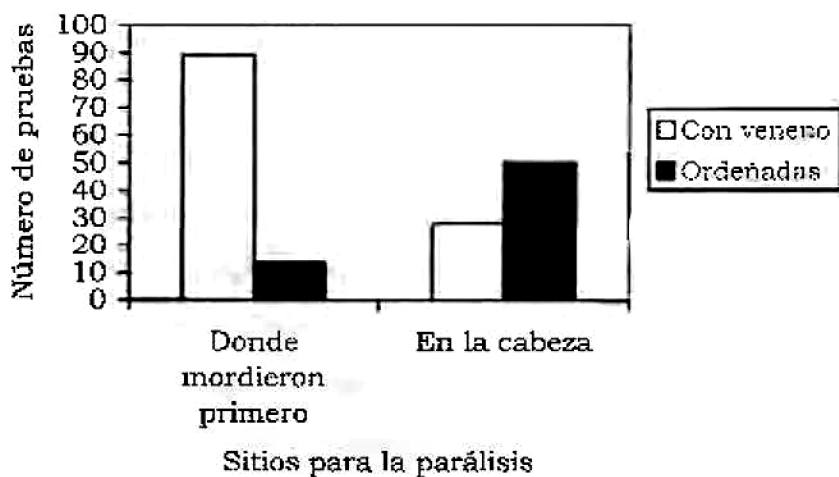


**Fig. 1.6.** Número de pruebas por mecanismos que utiliza para paralizar a su presa *Micrurus n. nigrocinctus*, según el tratamiento.

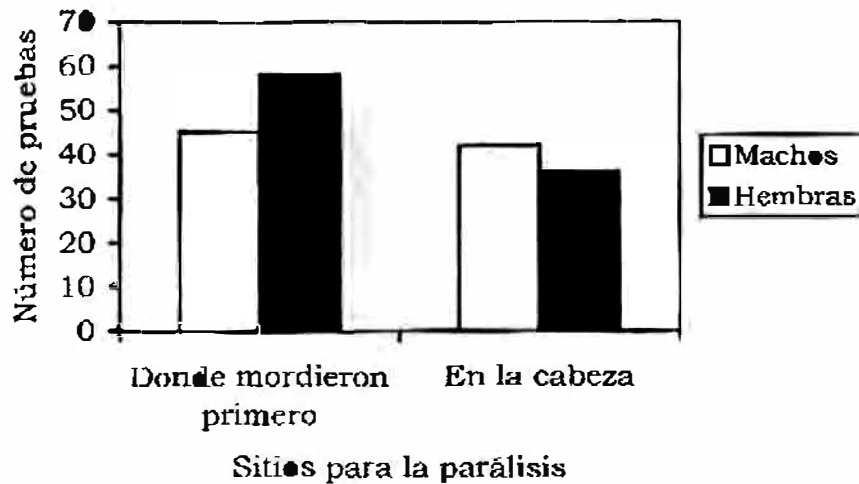


**Fig. 1.7.** Número de pruebas por mecanismos que utiliza para paralizar a su presa *Micrurus n. nigrocinctus*, según el sexo.

El 56.9% paralizaron a la presa en el sitio donde primero mordieron, mientras que el 43.1% lo hicieron en la cabeza ( $X^2 = 3.46$ ,  $g.l. = 1$ ,  $P = 0.063$ ). Existen diferencias al comparar las corales con veneno y ordeñadas con respecto a estos sitios para paralizar a la presa ( $X^2 = 49.55$ ,  $g.l. = 1$ ,  $P < 0.001$ , Fig. 1.8), pero no entre los sexos ( $X^2 = 1.83$ ,  $g.l. = 1$ ,  $P = 0.176$ , Fig. 1.9).



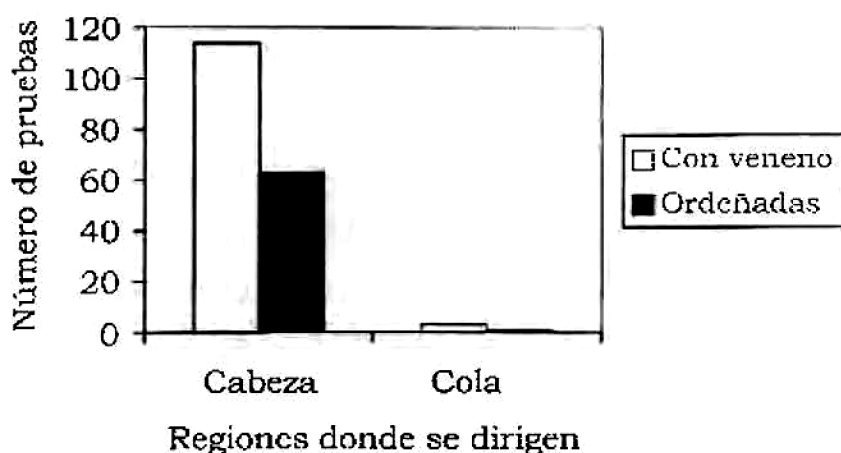
**Fig. 1.8.** Número de pruebas por sitios que utiliza para paralizar a su presa *Micrurus n. nigrocinctus*, según el tratamiento.



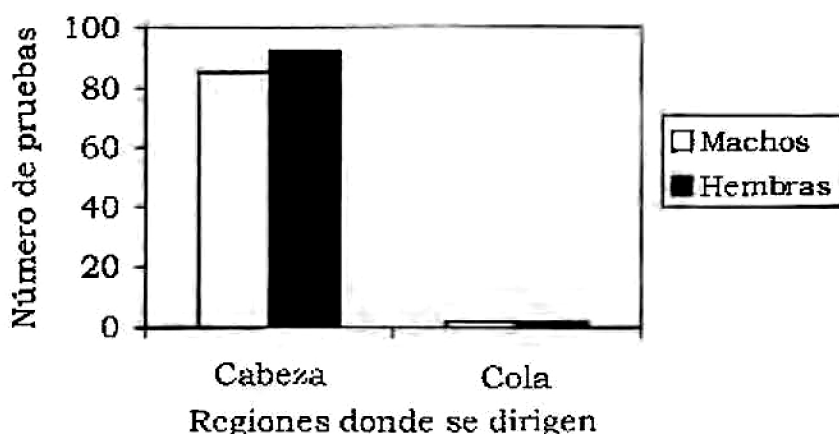
**Fig. 1.9.** Número de pruebas por sitios que utiliza para paralizar a su presa *Micrurus n. nigrocinctus*, según el sexo.

El tiempo de parálisis para las corales ordeñadas fue mayor si se compara con las que tenían veneno ( $\bar{x} = 1273$  1s, D.E. = 800.5, ámbito = 463-3660 y  $\bar{x} = 671.4$ , D.E. = 352.3, ámbito = 164-2102 respectivamente,  $F_{(1,138)} = 45.70$ ,  $P < 0.001$ ), no así para los individuos ( $F_{(38,138)} = 0.87$ ,  $P = 0.353$ ) y la alimentación ( $F_{(3,138)} = 1.08$ ,  $P = 0.300$ ).

**Pre-ingestión.** Las serpientes corales iniciaron una serie de maniobras pre-ingestivas para tragar a sus presas después de paralizarlas. De las 181 pruebas, el 97.8% empiezan estos movimientos hacia la cabeza, mientras que el 2.2% lo realizan hacia la cola, resultando la cabeza la parte preferida para empezar la ingestión ( $X^2 = 165.36$ ,  $g.l.=1$ ,  $P < 0.001$ ), sin encontrarse diferencias entre los tratamientos ( $X^2 = 0.19$ ,  $g.l.=1$ ,  $P = 0.663$ , Fig. 1.10) ni los sexos ( $X^2 = 0.01$ ,  $g.l.=1$ ,  $P = 0.920$ , Fig 1.11).



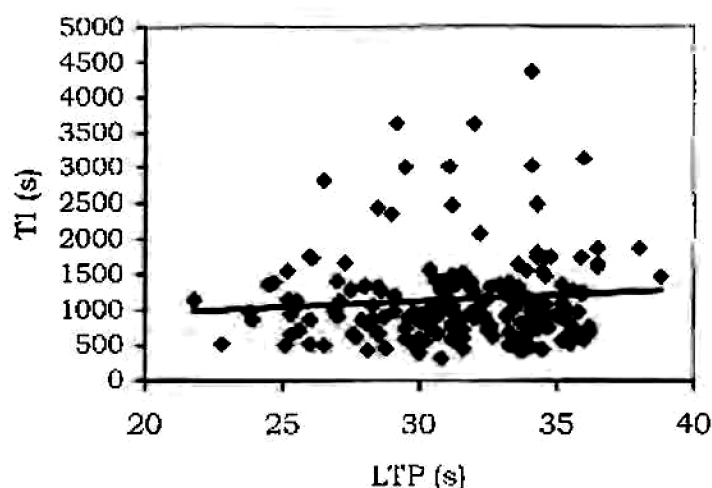
**Fig. 1.10.** Número de pruebas por regiones que se dirige para iniciar la ingestión de la presa *Micrurus n. nigrocinctus*, según el tratamiento.



**Fig. 1.11.** Número de pruebas por regiones que se dirige para iniciar la ingestión *Micrurus n. nigrocinctus*, según el sexo.

Las corales que se dirigieron hacia la cola pudieron reconocer el error que habían cometido y se redirigieron hacia la cabeza. Para llegar a la cabeza utilizaron una serie de movimientos mandibulares laterales en donde la mandíbula es extendida, poco a poco en mordidas sucesivas a lo largo de todo el cuerpo de la presa.

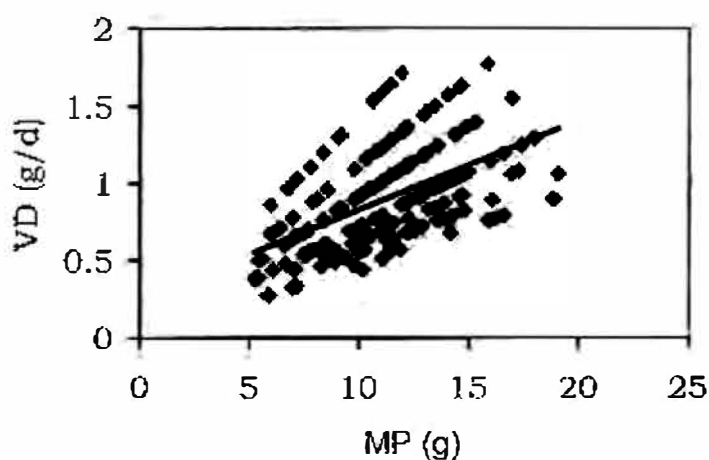
**Ingestión.** Las corales empiezan a tragar la presa con movimientos mandibulares y laterales de la cabeza. El tiempo de ingestión para las corales con veneno fue muy similar si se compara con las ordeñadas ( $x = 1164.8$  s, D.E. = 665.7, 312-4357 y  $\bar{x} = 1114.5$ , D.E = 603.5, 435-3625 respectivamente) sin encontrarse diferencias significativas al comparar estos valores ( $F_{(1,138)} = 0.19$ ,  $P = 0.664$ ), ni para los individuos ( $F_{(38,138)} = 2.71$ ,  $P = 0.102$ ), pero sí para las alimentaciones ( $F_{(3,138)} = 10.55$ ,  $P < 0.005$ ) los cuales difieren. No se encontró una relación lineal entre el tiempo de ingestión (TI) y la longitud total de la presa (LTP) ingerida ( $TI=612.49 + 17.02xLTP$ ,  $r^2=0.01$ ,  $P = 0.216$ , Fig. 1.12).



**Fig. 1.12.** Relación entre el tiempo de ingestión (TI) y la longitud total de la presa (LTP) en la serpiente coral *Micrurus n. nigrocinctus*.



**Digestión.** El tiempo promedio de digestión para las serpientes corales con veneno fue de 13.2 días (D.E.=3.8, 7-23) mientras que para las ordeñadas fue de 13.8 días (D.E.=4.1, 7-22); para estos valores no existen diferencias significativas ( $F_{(1,138)} = 0.66$ ,  $P = 0.418$ ), ni tampoco para las alimentaciones ( $F_{(3,138)} = 3.49$ ,  $P = 0.064$ ), ni para las corales ( $F_{(38,138)} = 2.60$ ,  $P = 0.109$ ). Se encontró una relación lineal positiva significativa entre la velocidad de digestión (VD) y la masa de la presa (MP) digerida ( $VD = 0.24 + 0.06xMP$ ,  $r^2 = 0.30$ ,  $P < 0.005$ , Fig. 1.13).



**Fig. 1.13.** Relación entre la velocidad de digestión (VD) y la masa de la presa (MP) en la serpiente coral, *Micrurus n. nigrocinctus*.

### Discusión

La serpiente coral *M. n. nigrocinctus* utiliza más la búsqueda activa que el acecho (Fig. 1.2 y 1.3). Este método es empleado por la coral del este de los Estados Unidos, *M. fulvius* (Greene, 1984), como en las serpientes marinas, *Laticauda colubrina* (Riedl y Chiszar, 1980), *Hydrophis melanocephalus* (Takahashi, 1981; Greene, 1997) y *Aipysurus duboisii* (Greene, 1997). La cobra de Egipto, *Walterinnesia aegyptia* busca activamente lagartijas del género *Uromastix*, mientras duermen en

madrigueras (Mattison, 1995). Sin embargo, al igual que *Micrurus fulvius* (Greene, 1984) y la víbora de la muerte, *Acanthophis antarcticus* (Shine, 1992; Mattison, 1995; Greene, 1997) utiliza el acecho, pero con menor frecuencia. Este método de caza es muy común en serpientes cautivas, pero es difícil decir si la serpiente lo utiliza en la naturaleza (Roze, 1996). Muchas serpientes en cautiverio cambian sus métodos de búsqueda de la presa debido en gran parte a factores ambientales como humedad, temperatura, estrés, disponibilidad de las presas o porque el espacio en donde viven no es el adecuado para realizar sus actividades vitales.

La búsqueda de la presa fue acompañada por movimientos de la lengua los cuales aumentaron al acercarse, lo que indica que *M. n. nigrocinctus* utiliza la quimiorrecepción. La mayoría de los individuos prefirieron capturar la presa por la cabeza y cuello (Fig. 1.4 y 1.5) lo que brinda una valiosa ventaja, ya que la inmovilizan y tragan con más rapidez (Roze, 1996). Este mecanismo reduce el riesgo de que depredadores los ataquen en momentos en que son vulnerables por no poder defenderse. Sin embargo, algunas serpientes corales toman presas grandes por la cola, adquiriendo ciertos beneficios ya que evitan sufrir algunos daños mecánicos por parte de las víctimas (Virt y Hulsc, 1973).

Al igual que *M. fulvius* (Greene, 1984), *M. n. nigrocinctus* utiliza una variación del patrón simple de colúbrido en el cual la presa es sujeta e inmovilizada por la inyección del veneno y luego tragada. Sin embargo, al igual que *M. fulvius* (Greene, 1984), la serpiente marina, *Laticauda colubrina* (Radcliffe y Chiszar, 1980) y *Naja haje* (Kardong, 1982), ésta serpiente coral raras veces libera a su presa y luego la relocaliza (Fig. 1.6 y 1.7) para empezar a tragarla, un patrón utilizado por algunos proteroglifos y solenoglifos cuando manipulan la presa (Kardong, 1975). Este mecanismo es utilizado por las serpientes corales cuando la lucha con la

presa es violenta • si se le presentan algunos problemas en la fase preingestiva (Greene, 1984).

En esta especie el tiempo promedio para paralizar la presa fue de 674.1 s un poco más de 11 min. Esto es por debajo del tiempo de 15- 20 min informado por Roze (1996). Sin embargo, este se duplica (1273.1s, 21.2 min) cuando se ordeñan sin que se garantice la ausencia de veneno, pero sí disminuye la cantidad que la serpiente inyecta en la presa. Esto permite demostrar que la principal función del veneno en esta coral es la paralización de la presa, ya que no se pudo comprobar un efecto en el tiempo de digestión aunque sí existe un efecto mionecrótico y hemorrágico (ver Cap. 2). Lo anterior es apoyado al observar corales ordeñadas utilizando otro mecanismo para paralizar a la presa, como por ejemplo, desplazarse desde la región donde mordieron primero hasta la cabeza en donde incrustaron los colmillos profundamente causando un daño mecánico en el cráneo de la víctima hasta que la paralizaron (Fig. 1.8 y 1.9).

Todas las serpientes tragan la presa por la cabeza, a pesar de que algunas se dirigieron hacia la cola (Fig. 1.10 y 1.11). Según Roze (1982) más de un 95% de las corales tragan a sus presas por esta misma región del cuerpo. Este método de tragado también ha sido informado en la serpiente marina, *Enhydrina schistosa* (Voris, et al, 1978). Las corales son capaces de identificar la cabeza por medio de la superposición de las escamas (Greene, 1976), aunque si ellas comienzan “ el recorrido mandibular” en dirección hacia la cola reconocen el error y cambian de dirección, como por ejemplo, *M. d. dissoleucus* (Roze, 1996). Sin embargo, *Hydrophis melanocephalus* y otras serpientes marinas que se alimentan de anguilas ocasionalmente tragan a sus presas por la cola (Greene, 1997). Roze (1996) encontró en un espécimen de *Micrurus b. browni* cuatro *Geophis salli*, tres tragados por la cabeza y uno por la cola. Greene

(1976) concluyó que la ingestión por la cabeza es un método alimentario común de las serpientes corales del Nuevo Mundo lo que representa una adaptación para la ofiofagia.

La velocidad de tragado en las corales depende del tamaño y forma de la presa. Según Roze (1982), estas serpientes tardan de unos hasta diez minutos en tragarse la presa, pero el proceso de ingestión completo (desde el encuentro de la presa hasta finalizar la ingestión) puede tardar desde pocos minutos hasta varias horas. Los resultados obtenidos para las serpientes estudiadas en ambos tratamientos, demuestran que los valores encontrados para el tiempo de ingestión se aproximan a los informados por Roze (1982). Además, la extracción del veneno no afectó el comportamiento de tragado de la presa.

La velocidad de digestión incrementa al aumentar la masa de la presa en ambos tratamientos (Fig. 1.13). Sin embargo, cuando se compara el valor promedio para el tiempo de digestión en ambos tratamientos se observa que no existen diferencias. Estos valores son más altos cuando son comparados con el de un vipérido. En *Bothrops jararacussu* se informa 4-5 días cuando ingirió ratones muertos inyectados con veneno, mientras que en ratones no inyectados es de 12-14 días (Reichert, 1936), esta última cifra muy similar a la encontrada para la especie estudiada. Esto puede ser posible, ya que el veneno de muchos vipéridos contiene componentes enzimáticos proteolíticos que actúan como jugos digestivos que al ser liberados profundamente en los tejidos de sus presas aceleran la digestión. La actividad proteolítica del veneno de los vipéridos parece facilitar la entrada de secreciones producidas en el estómago de la serpiente las cuales penetran dentro de la cavidad de la presa, inhibiendo la acción bacteriana y de esta manera, reduciendo el riesgo de putrefacción de la presa antes que sea digerida (Thomas y Pough, 1979). Por el contrario, los venenos de muchos elápidos y algunos

colúbridos contienen principalmente componentes tóxicos no enzimáticos, especialmente neurotoxinas, sin presentar grandes cantidades de enzimas proteolíticas. Esta característica posiblemente esté relacionada a sus dietas, las cuales se basan en serpientes u otros animales con una alta razón superficie / volumen corporal y a que sus sistemas digestivos son suficientemente capaces de digerir presas de este tipo (Greene, 1997). Esto podría explicar por qué el veneno neurotóxico de *M. n. nigrocinctus* no desempeña un papel tan importante en la digestión de la presa, pero sí en su parálisis o muerte antes de empezar a tragarla.

#### Literatura Citada

- Alvarez del Toro, M. 1982. Los Reptiles de Chiapas. 3d ed. Chiapas, México, Tuxtla Gutiérrez. 248 p.
- Campbell, J. A. y W. W. Lamar. 1989. The Venemous Reptiles of Latin America. 425 p.
- Chaves, F., J. Alvarado, R. Aymerich y A. Solórzano. 1993. Aspectos básicos sobre las serpientes de Costa Rica. Fac. de Micr. Inst., Clodomiro Picado. Publicado por la Oficina de Publicaciones de la Universidad de Costa Rica. 58 p.
- Greene, H.W. 1976. Scale overlap, a directional sing stimulus for prey ingestion by ophiophagous snakes. *Z. Tierpsychol.*, 41: 113-120.
- Greene, H.W. 1984. Feeding Behavior and Diet of the Eastern Coral Snake, *Micrurus fulvius*. *Vertebrate Ecology and Sistematics-A Tribute to S. Fitch*. Edited by R. A. Seigel, L.E. Hunt, J.L. Knight, L. Malaret y N. L. Zuschlag. Musseum of Natural History. The University of Kansas. Lawrence, 10: 147-162.

- Greene, H.W. 1986. Natural history and evolutionary biology. En: Predators-prey Relationships: Perspectives and Approaches from the Study of Lower Vertebrates (Feder M.E. y G. V. Lauder, Eds.). Univ. Chicago Press, Chicago. 99-108 p.
- Greene, H. W. 1997. Snakes. The evolution of mystery in nature. University of California Press. 351 p.
- Greene, H. W. y R. L. Seib. 1991 *Micrurus nigrocinctus nigrocinctus* (Coral, Coral Snake, Coralillo). En: Historia Natural de Costa Rica (Jansen, D.W., Ed.). 411-413 p.
- Greene, H. W. Y M. G. Burghardt. 1978. Behavior and phylogeny: Constriction in ancient and modern snakes. *Science* 200: 74-77.
- Gutiérrez, J. M. 1993. Memorias del seminario: El Envenenamiento Ofídico: Fisiología y Tratamiento. Instituto Clodomiro Picado. Universidad de Costa Rica. 27 p.
- Kardong, K. V. 1975. Prey capture in the cottonmouth snake (*Agkistrodon piscivorus*). *J. Herp.*, 9: 169-175.
- Kardong, K. V. 1980. Evolutionary patterns in advanced snakes. *Amer. Zool.*, 20: 269-282.
- Kardong, K. V. 1982. Comparative study of changes in prey capture behavior of the cottonmouth (*Agkistrodon piscivorus*) and Egyptian cobra (*Naja haje*). *Copeia*, 1982 (2): 337-343.
- Kardong, K.V. 1996. Snake toxins and venoms: an evolutionary perspective. *Herpetologica*, 52(1): 36-46.
- Mattison, C. 1995. *The Encyclopedia of Snakes*. London. 256 p.
- Parker, H.W. 1977. *Snake a natural history*. 2da. Edición. British Museum (Natural History), Cornell University Press. 108 p.

- Radcliffe, C.W. y D.A. Chiszar. 1980. A descriptive analysis of predatory behavior in the yellow lipped sea krait (*Laticauda colubrina*). *J. Herp.*, 14: 422-424.
- Reichert, E. 1936. *Bothrops jararacussu*. *Bl. Aquar.-u. Terrarienk.*, 47: 228.
- Rodríguez-Robles, J. A. 1992. Notes on the feeding behavior of the Puerto Rican Racer, *Alsophis portoricensis* (Serpentes: Colubridae). *J. Herp.*, 26: 102-105.
- Rodríguez-Robles, J. A. y R. Thomas. 1992. Venom function in the Puerto Rican racer, *Alsophis portoricensis* (Serpentes: Colubridae). *Copeia*, 1992:62-68.
- Roze, A. J. 1982. New world coral snakes (Elapidae): A taxonomic and biological summary. *Mem. Inst. Butantan*, 46: 305-338.
- Roze, A. J. 1996. Coral Snakes of the Americas: Biology, Identification and Venoms. Kreiger Publishing Company. Malabar, Florida. 328 p
- Shine, R. y T. Schwaner. 1985. Prey constriction by venomous snakes: A review and new data on Australian species. *Copeia*, 1985: 1067-1071.
- Shine, R. 1992. Snakes. En: *Reptiles y Amphibians* (Cogger, H.G. y Zweifel, R. G., Eds.). 174-211 p.
- Seib, R.L. 1978. Implications of similarity in patterns of snake species diversity in coffee fincas of Guatemala and Panamá. Paper presented at Am. Soc. Ichthyol. Herpetol. Meeting, Tempe, Arizona (abstract).
- Seib, R.L. 1980. Human envenomation from the bite of an aglyphous false coral snake, *Pliocercus elapoides* (Serpentes: Colubridae). *Toxicon*, 18: 339-401.

- Solórzano, A. y L. Cerdas. 1988. Ciclos reproductivos de la serpiente coral *Micrurus nigrocinctus nigrocinctus* (Serpentes: Elapidae) en Costa Rica. *Biol. Trop.*, 36(24): 235-239.
- Takahashi, H. 1981. The feeding behaviour of a seasnake, *Hydrophis melanocephalus* gray. *Snake*, 13: 158-159.
- Thomas, R.G. y F. H. Pough. 1979. The effect of rattlesnake venom on digestion of prey. *Toxicon*, 17: 221-228.
- Vitt, L.J. y A.C. Hulse. 1973. Observations on feeding habits and tail display of the Sonoran coral snake, *Micrurus euryxanthus*. *Herpetologica*, 29: 302-304.
- Voris, H. K., H. H. Voris y L. B. Liat. 1978. The food and feeding behavior of a marine snake, *Enhydrina schistosa* (Hydrophiidae). *Copeia*, 1978 (1): 134-146.



**Capítulo 2**  
**Toxicidad del veneno de la serpiente coral *Micrurus***  
***nigrocinctus nigrocinctus* (Serpentes: Elapidae)**  
**sobre sus presas naturales.**

**Resumen**

Se describe por primera vez la toxicidad del veneno de la serpiente coral centroamericana, *Micrurus nigrocinctus nigrocinctus* sobre algunas de sus presas naturales como lo son *Geophis godmani*, *G. brachycephalus* y *Ninia maculata*. Los resultados demostraron que existe una diferencia bien marcada en la susceptibilidad al veneno entre las presas estudiadas, siendo *G. godmani* la más susceptible y la menos *N. maculata*. Estas diferencias pueden deberse a ciertos mecanismos de resistencia al veneno neurotóxico en los que se incluye la presencia de factores séricos neutralizantes o a modificaciones en la estructura del receptor de acetilcolina. El veneno de este elápidio inmoviliza la presa causando una parálisis de los músculos de la respiración hasta que dejan de funcionar y la presa al cabo de cierto tiempo muere. Al igual que en ratones, el veneno induce una prominente mionecrosis la cual fue observada histológicamente y caracterizada por una conspicua alteración en la estructura intracelular. Además, este produjo un edema evidente en el sitio de la mordida y no se observó cambios histológicos en el corazón y pulmón, aunque en algunos cortes histológicos (pulmón) se presentó una leve hemorragia.

## Introducción

Los venenos de las serpientes son producidos por glándulas altamente especializadas, las cuales probablemente tienen un origen común con las glándulas exocrinas salivares y el páncreas de los mamíferos (Kochva, 1987). Estos contienen alrededor de un 25% de sólidos totales constituidos principalmente por proteínas y polipéptidos, responsables de la mayoría de los efectos farmacológicos (Bolaños, 1984). Muchas de estas proteínas son las responsables de la neurotoxicidad, miotoxicidad, cardiotoxicidad y alteraciones en la coagulación sanguínea inducidos por serpientes venenosas (Alape-Giron, 1997).

Las neurotoxinas son las principales proteínas tóxicas de los venenos de los clápidos, cobras (*Naja* sp.), kraits (*Bungarus* sp.), serpiente tigre (*Notechis scutatus*), corales (*Micrurus* sp.) y otras. Por su lugar de acción en la unión neuromuscular se clasifican en presinápticas y postsinápticas (Mejía, 1987).

Las neurotoxinas presinápticas actúan impidiendo la liberación de acetilcolina sobre el extremo de la unión neuromuscular, a tal grado que las vesículas axonales son destruidas sin afectar los receptores de acetilcolina en la placa motora no son alterados.

Entre las neurotoxinas presinápticas mejor caracterizadas se encuentran la  $\beta$ -bungarotoxina (*Bungarus multicinctus*), la notexina (*Notechis scutatus*) y la taipoxina (*Oxyuranus scutellatus*). Algunas de estas toxinas, por ejemplo, la taipoxina y la notexina también exhiben una actividad miotóxica, mientras que la  $\beta$ -bungarotoxina parece ser exclusivamente neurotóxica (Hofling *et al.*, 1983/1984).

Por otra parte, las neurotoxinas postsinápticas bloquean los receptores de acetilcolina en la placa motora. Entre las neurotoxinas

postsinápticas de elápidos mejor caracterizadas se pueden mencionar la  $\alpha$ -bungarotoxina (*Bungarus multicinctus*) y la cobratoxina (*Naja naja*).

Hay que mencionar que los venenos de las serpientes corales contienen una gran variedad de enzimas, incluyendo fosfolipasas A<sub>2</sub>, las cuales son en gran medida responsables de las actividades farmacológicas. Sin embargo, estos venenos no tienen una significativa actividad proteolítica (Gutiérrez *et al.*, 1980; Aird y Da Silva, 1991) ni causan hemorragia, coagulopatías ni hemólisis intravascular (Gutiérrez *et al.*, 1983, 1986).

Algunas proteínas básicas, desprovistas de neurotoxicidad y acción enzimática, pero capaces de provocar paro cardíaco, miotoxicidad y citotoxicidad, han sido aisladas e identificadas en los venenos de cobras (Jiménez-Porras, 1968). Las cardiotoxinas son los mayores componentes de los venenos de las especies de *Naja* y *Hemachatus* (Dufton y Hider, 1991). Ellas producen una despolarización de la fibra del miocardio, que se contrae, seguida de una parálisis irreversible que ocasiona un paro cardíaco (Bolaños, 1984).

En el Continente Americano los elápidos están representados por las serpientes corales. Ellas comprenden un grupo de aproximadamente 120 especies (géneros *Micrurus*, *Leptomicrurus* y *Micruroides*) distribuidas desde el sureste de los Estados Unidos hasta Argentina (McDowell, 1987; Campbell y Lamar, 1989). Cada una de estas especies es venenosa y, en especial, las del género *Micrurus* han sido responsables de la muerte de personas.

Los venenos de las especies que comprenden el género *Micrurus* son neurotóxicos (Rosenfeld, 1971; Jiménez - Porras *et al.*, 1973; Moussatché y Meléndez, 1979; Vital Brazil y Fontana, 1983/1984). Los signos y síntomas del envenenamiento son el resultado de un progresivo bloqueo en la unión neuromuscular y cuando ocurre, la muerte se debe

a un paro respiratorio (Russell, 1983; Bolaños, 1984; Alape-Girón, 1997). Ellos también son mionecróticos (Gutiérrez *et al.*, 1980, 1983, 1986) y exhiben efectos cardiotoxicos (Weis y McIsaac, 1971; Vital Brazil, 1987). Además, localmente pueden exhibir un dolor de leve a moderado y un ligero edema en el sitio de la mordedura, sin que se presenten efectos hemorrágicos ni necróticos evidentes (Gutiérrez, 1993).

*Micrurus n. nigrocinctus* es la serpiente coral más abundante y la de mayor importancia médica en Centro América (Bolaños, 1984; Alape-Girón, 1994a). Al igual que otras especies de corales su veneno induce parálisis y fallo respiratorio en animales (Jiménez-Porras, 1968), mientras que algunos cambios electrofisiológicos sugieren la presencia de toxinas que actúan post y presinápticamente (Guolarte *et al.*, 1995). Además de estos efectos, el veneno posee una acción fuertemente miotóxica informada en el tejido muscular de ratones (Gutiérrez *et al.*, 1980, 1983, 1986, 1992).

La serpiente coral *M. n. nigrocinctus* utiliza su veneno para inmovilizar o matar a sus presas y en el laboratorio se ha demostrado que este veneno es tóxico para una gran cantidad de animales de experimentación.

La toxicidad del veneno de las serpientes corales sobre sus presas naturales ha recibido poca atención por parte de los biólogos. En parte, esto se debe a los hábitos sigilosos y fosoriales de estas serpientes las cuales son difíciles de encontrar y por lo complicadas que son para mantener en cautiverio debido a sus dietas especializadas, las cuales muchas veces se desconocen. En esta investigación se describe la letalidad y toxicidad del veneno de la serpiente coral *M. n. nigrocinctus* sobre algunas presas que incluye en la dieta en sus hábitats naturales en Costa Rica.

## **Materiales y métodos**

Se utilizaron venenos de la colección del Instituto Clodomiro Picado que se conservaron liofilizados a  $-40^{\circ}\text{C}$ , los cuales son mezclas de diferentes ejemplares de *Micrurus n. nigrocinctus* recibidos en el serpentario procedentes de San José (Guadalupe, Curridabat, San Pedro, Escazú y Moravia), Alajuela (San José), Puntarenas (Orotina), Guanacaste (Cañas), Heredia (Santo Domingo) y Cartago.

Diferentes dosis de veneno, en 0.1 ml de solución salina amortiguada con fosfatos a pH 7.2, fueron inyectadas (vía subcutánea) cada una a un grupo de serpientes minadoras constituido por 10 individuos pertenecientes a las especies *Geophis godmani*, *G. brachycephalus*, y *Ninia maculata*. Las dosis de veneno inyectadas se ajustaron al peso de los individuos. Un grupo adicional de serpientes de las mismas especies fue inoculado por la misma vía con 0.1 ml de solución salina amortiguada la cual funcionó como control. Las muertes fueron registradas a las 72 horas. Asimismo, se registró el tiempo (cada 2 hr) cuando apareció la parálisis y muerte en las serpientes inyectadas para cada dosis. La dosis letal de 50% de la población ( $DL_{50}$ ), definida como la dosis de veneno que mata el 50% de la población, se estimó utilizando el método de Sperman-Karber (Gené y Robles, 1986).

Para describir los efectos locales (mionecrosis, hemorragia y edema) inducidos por las inoculaciones experimentales de las diferentes dosis utilizadas de veneno de las corales a las culebras minadoras, se tomaron dosis subletal ( $40\mu\text{g}$ ) y letal ( $100\mu\text{g}$ ), las cuales se inyectaron por separado, por vía subcutánea, a 3 ejemplares de *G. godmani* según el caso y a diferentes intervalos de tiempo se observaron las alteraciones inducidas. Estos fueron de 4 hr para observar lesiones agudas e intermedias y 24 hr para el estado final del envenenamiento. Igualmente se inocularon un grupo de culebras minadoras con solución salina el

cual sirvió como grupo control y que luego fueron sacrificados a iguales periodos de tiempo. Para cada caso, tiempo y dosis se tomaron muestras de tejidos (músculo esquelético intercostal, corazón y pulmón) de las *Geophis*, los cuales fueron fijados en soluciones de Karnovsky y tetraóxido de osmio al 2%. Posteriormente se procedió a realizar la deshidratación seriada de las muestras con etanol en concentraciones crecientes y finalmente se sometieron a infiltración con resina Spurr (fórmula Tabb) en cápsulas plásticas. Se cortaron secciones gruesas de 1.5  $\mu\text{m}$  con un micrótopo Reichert-Juhn modelo 2040 y se tiñeron con azul de toluidina para su posterior observación al microscopio de luz.

## Resultados

### Letalidad

Los resultados obtenidos de la letalidad del veneno de la serpiente coral, *M. n. nigrocinctus* sobre algunas de sus presas naturales son mostrados en la Tabla 2.1. En este se observa el valor de la dosis letal ( $DL_{50}$ ) con límites de confianza del 95% para las tres especies de colúbridos donde se nota las grandes diferencias en la susceptibilidad al veneno de este clárido. La especie más susceptible al veneno fue *Geophis godmani* ( $DL_{50} = 7,67 \mu\text{g/g}$ ) y la menos *Ninia maculata* ( $DL_{50} > 50 \mu\text{g/g}$ ). Se observó que todas las serpientes de las tres especies inyectadas con veneno antes de morir trataron de moverse, pero no lo lograron y si lo hicieron fue lentamente. Además, ellas trataron de respirar por la boca la cual permaneció abierta hasta que sucumbieron.

**Tabla 2.1.** Efecto letal del veneno de *Micrurus n. nigrocinctus* sobre tres especies de colúbridos que forman parte de su dieta.

<b>Especies</b>	<b>n</b>	<b>Valor de DL<sub>50</sub> (ug/g)*</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Límite de confianza 95%</b>
<i>Geophis godmani</i>	10	7,67	29	5,64 ± 10,36
<i>G. brachycephalus</i>	10	21,89	19	16,41 ± 28,67
<i>Ninia maculata</i>	10	> 50	—	—

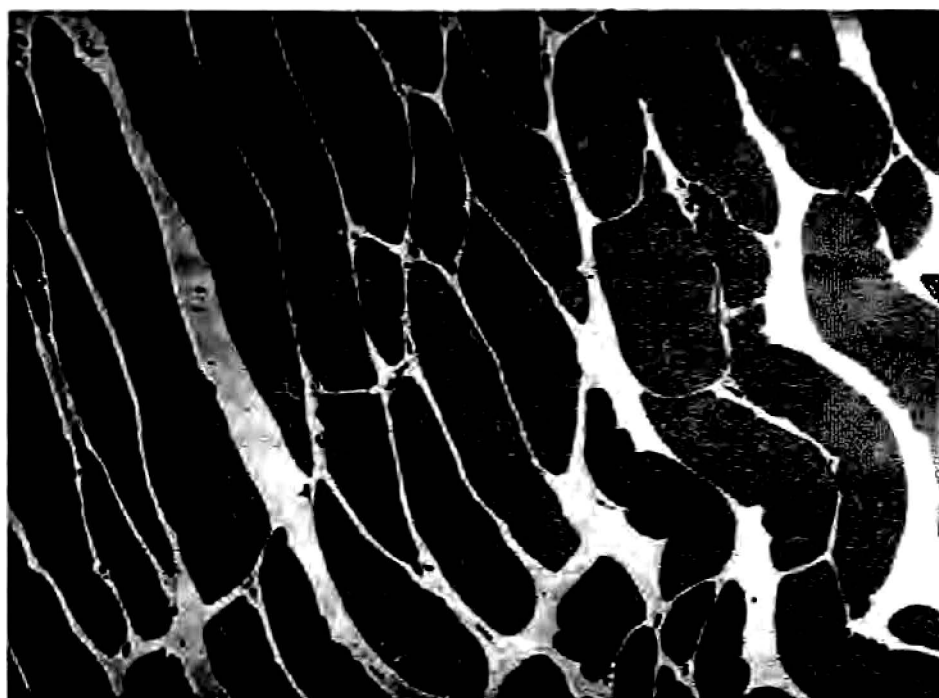
\*ug de veneno por gramo de peso corporal

### **Observaciones macroscópicas**

La región de los músculos intercostales, próxima al sitio de inoculación del veneno por la vía subcutánea, mostró un exudado evidente, aunque no se apreció hemorragia. Dicho exudado no se observó en serpientes inyectadas con solución salina. El corazón y los pulmones no presentaron alteraciones macroscópicas evidentes y su morfología fue similar a los especímenes control inoculados con solución salina.

### **Observaciones histológicas**

**Músculo esquelético intercostal:** El músculo de serpientes control inyectadas con solución salina no mostró alteraciones histológicas de ningún tipo, presentando una apariencia histológica normal, típica de músculo esquelético (Fig. 2.1). Por otra parte, en las muestras tomadas de animales inyectados con veneno se evidenció, en los músculos intercostales próximos al sitio de la inoculación del veneno, una evidente necrosis a las 4 y 24 hrs. (Tabla 2.2 y 2.3). Histológicamente se apreciarán abundantes fibras musculares afectadas, con hipercontracción de miofilamentos, lo cual hacía que el material celular



**Figura 2.1.** Micrografía de luz de una sección de tejido muscular (músculos intercostales) de *Geophis godmani* 4 horas después de la inyección subcutánea de 100  $\mu$ l de solución salina. Se observa una histomorfología normal, típica de músculo esquelético, sin necrosis ni hemorragia.





**Figura 2.2.** Micrografía de luz de una sección de tejido muscular (músculos intercostales) de *Geophis godmani* 4 horas después de la inyección subcutánea de  $100\ \mu\text{g}$  de veneno de *Micrurus n. nigrocinctus*, diluido en  $100\ \mu\text{l}$  de solución salina. Se observan células musculares necróticas (flechas), en las que el material miofibrilar muestra un aspecto hipercontraído. También se observan algunas células con apariencia normal. No hay evidencia de hemorragia y se observan vasos capilares con apariencia normal (cabezas de flecha).

**Tabla 2.2** Efectos locales inducidos por el veneno de *Micrurus n. nigrocinctus* en *Geophis godmani*. Dosis subletal de 40 ug.

Tejidos	Efectos	Tiempo	
		4h	24 h
Músculo esquelético	Edema	+	+
	Necrosis	+	+
	Hemorragia	—	—
Músculo Cardíaco (Corazón)	Necrosis	—	—
	Hemorragia	—	—
Pulmón	Edema	—	—
	Hemorragia	—	—

Descripción del efecto: — = Ausente; + = Presente

**Tabla 2.3** Efectos locales inducidos por el veneno de *Micrurus n. nigrocinctus* en *Geophis godmani*. Dosis letal de 100 ug.

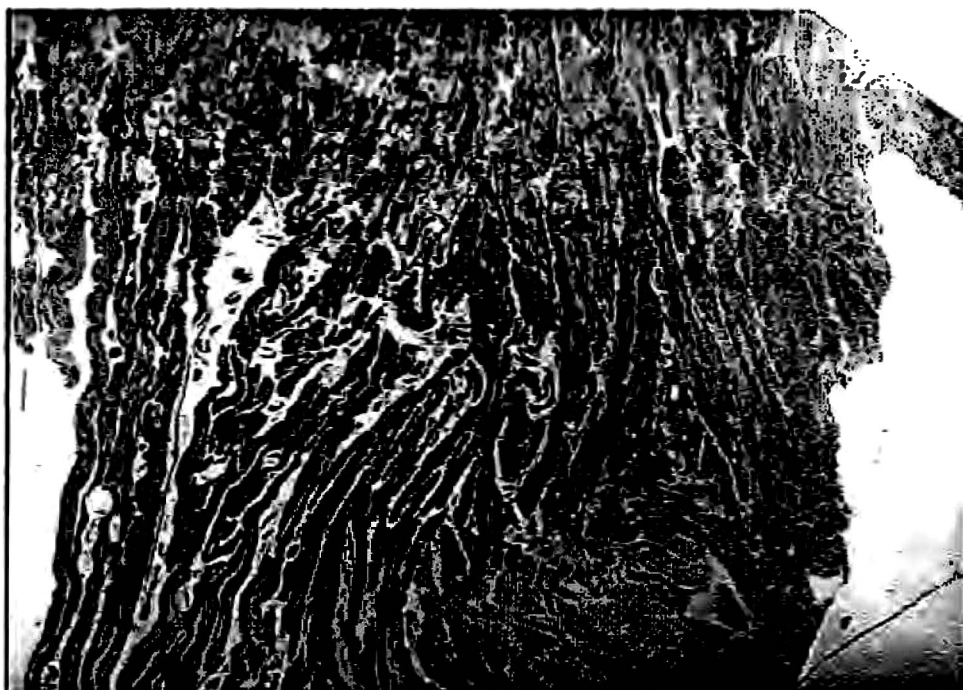
Tejidos	Efectos	Tiempo	
		4h	24 h
Músculo esquelético	Edema	+	+
	Necrosis	+	+
	Hemorragia	—	—
Músculo Cardíaco (Corazón)	Necrosis	—	—
	Hemorragia	—	—
Pulmón	Edema	—	—
	Hemorragia	—	+

Descripción del efecto: — = Ausente; + = Presente

mostrara, alternativamente, zonas con miofilamentos hipercontraídos y zonas prácticamente libres de miofilamentos (Fig. 2.2). Además, se observó un edema con aumento aparente del volumen del espacio intersticial. En periodos de tiempo posteriores (24 hrs), se hizo evidente un infiltrado inflamatorio, con células fagocíticas. No se observó hemorragia en el tejido muscular, ni alteraciones evidentes en los nervios y vasos sanguíneos.

**Músculo cardíaco:** No se observaron diferencias en las características histológicas del músculo cardíaco en animales inyectados con solución salina y en aquellos inyectados con veneno a las 4 y 24 hrs. Los miocitos presentaron una morfología característica de músculo cardíaco y no se observó edema, hemorragia ni ningún tipo de reacción inflamatoria (Tabla 2.2, 2.3 y Fig. 2.3).

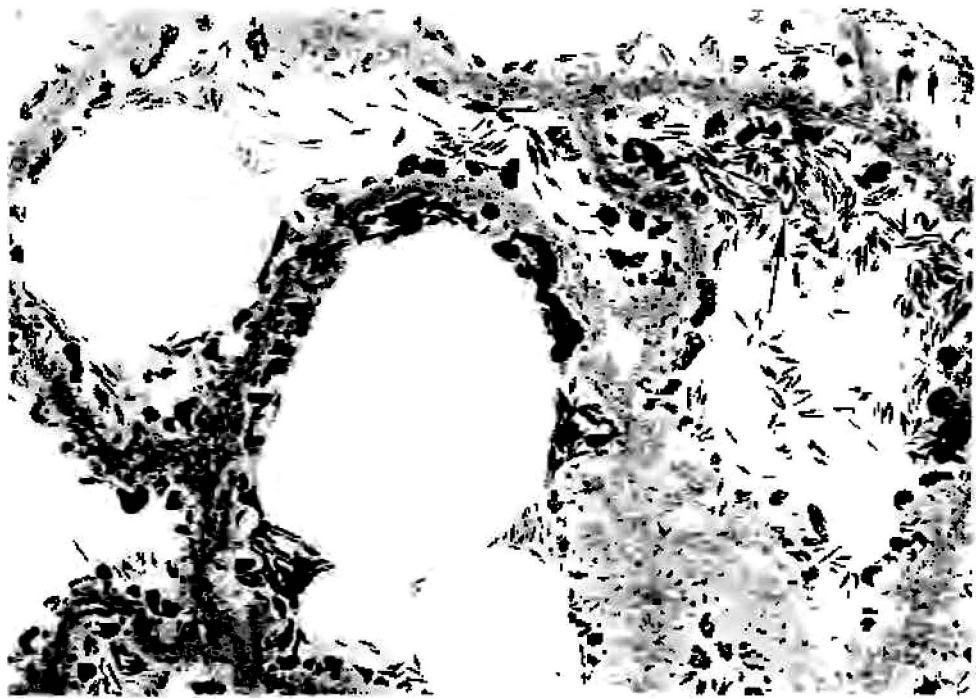
**Pulmón:** Los cortes de tejido pulmonar en serpientes inyectadas con solución salina mostraron una apariencia histológica normal, con presencia de eritrocitos en los capilares presentes a los tabiques alveolares, pero sin extravasación en los espacios aéreos (Fig. 2.4). Las serpientes inyectadas con veneno no presentaron alteraciones importantes en la histología del pulmón (Tabla 2.2 y 2.3). No obstante, en unos pocos cortes se observó una extravasación, con presencia de eritrocitos en los espacios aéreos (Fig. 2.5). Esta extravasación no llegó a ser drástica en ningún caso. Aparte de este fenómeno, no se apreciaron alteraciones morfológicas en la estructura de los componentes del intersticio pulmonar.



**Figura 2.3.** Micrografía de luz de una sección de músculo cardíaco de *Geophis godmani* 4 horas después de la inyección subcutánea de 100  $\mu\text{g}$  de veneno de *Micrurus n. nigrocinctus*, diluido en 100  $\mu\text{l}$  de solución salina. No se observan alteraciones histológicas que indiquen la presencia de necrosis ni hemorragia en el miocardio.



**Figura 2.4.** Micrografía de luz de una sección de tejido pulmonar de *Geophis godmani* 4 horas después de la inyección subcutánea de 100  $\mu$ l de solución salina. Se observa un patrón histológico normal, sin lesiones en vasos sanguíneos ni en los tabiques alveolares.



**Figura 2.5.** Micrografía de luz de una sección de tejido pulmonar de *Geophis godmani* 4 horas después de la inyección subcutánea de 100  $\mu$ g de veneno de *Micrurus n. nigrocinctus*, diluido en 100  $\mu$ l de solución salina. En general, no se observan alteraciones en los tabiques alveolares, aunque sí se aprecia un foco de hemorragia en un espacio alveolar (flecha)

## Discusión

Los resultados indican que existe una diferencia bien marcada a la resistencia del veneno de la serpiente coral *M. n. nigrocinctus* entre los diferentes colúbridos que forman parte de su dieta natural en donde *Ninia maculata* es la más resistente. Minton y Minton (1981) informaron que lagartijas pertenecientes a las especies *Ctenotus robustus*, *Ergenia cunninghami*, *E. striolata* y *E. whitti* y que forman parte de la dieta natural de los elápidos australianos *Notechis scutatus*, *Pseudonaja textilis* y *Acanthophis antarcticus* fueron resistentes a sus venenos (40-60 mg/kg), mientras que los ratones fueron más susceptibles (< 1 mg/kg); el mecanismo responsable de esta resistencia no ha sido esclarecido. Por otra parte, al agrupar algunas especies de *Micrurus* del Nuevo Mundo según la preferencia de presas se encontró que sus venenos fueron más tóxicos para estas que para ciertas especies de presas que no forman parte de su dieta natural; por ejemplo, los venenos de las serpientes ofiófagas *Micrurus frontalis*, *M. pyrrhocryptus* y *M. spixii* fueron más tóxicos para el colubrido *Liophis typhlus* que para otras especies de presas (Jorge da Silva y Aird, 2000). Estas diferencias podrían deberse a que las presas han desarrollado mecanismos de resistencia a las neurotoxinas del veneno. La resistencia que ofrecen algunos animales a las neurotoxinas puede explicarse debido a la presencia de factores séricos neutralizantes o alternativamente, a modificaciones en la estructura del receptor de acetilcolina. Por ejemplo, Lee y Tseng (1969) encontraron que las aves (palomas y pollos) son extremadamente susceptibles a la acción letal del veneno del elápid, *Bungarus multicinctus* con respecto al de mamíferos (ratones). Según estos autores la diferencia se debe a que en aves los músculos son extremadamente sensibles a la  $\beta$ -bungarotoxina, pero no a la  $\alpha$ -bungarotoxina. La última actúa bloqueando el receptor coligérmico de la

placa motora de las fibras musculares (Bolaños, 1984), mientras que la primera actúa presinápticamente primero facilitando y luego disminuyendo la liberación de acetilcolina del extremo del nervio motor.

Muchos colúbridos ofiófagos, tales como la serpiente reina, *Lampropeltis getulus* y la zopilota, *Crotalia clelia* demuestran resistencia a los venenos de varios vipéridos quienes forman parte de sus dietas. En ambas especies se ha correlacionado su resistencia a la presencia de factores séricos neutralizantes (Bonnett y Guttman, 1971, Lomonte et al., 1989).

El veneno de las serpientes corales se ha caracterizado clásicamente por tener un efecto neurotóxico, debido a la acción de neurotoxinas que afectan la unión neuromuscular. Se ha demostrado que el veneno de *M. n. nigrocinctus* tiene varias neurotoxinas postsinápticas y algunas fosfolipasas A<sub>2</sub> tóxicas de acción probablemente presináptica (Rosso et al., 1996; Alape et al., 1994a,b) similarmente al veneno de los elápidos de otros continentes.

Las pruebas de letalidad reflejaron que el veneno de *M. n. nigrocinctus* es letal para sus presas naturales. Este, evidentemente induce un efecto neurotóxico que se traduce en parálisis lo cual juega un papel muy importante en la inmovilización de la presa, facilitando su apresamiento y posteriormente su ingestión. Al igual que en otros elápidos, el veneno causa parálisis a los músculos de la respiración. La mayoría de los reptiles respiran desplazando las costillas hacia arriba y hacia delante, una acción que efectúan los músculos intercostales (Parker y Bellairs, 1975), aumentando la capacidad de la región pleural de la cavidad del cuerpo. Es muy posible que las neurotoxinas presinápticas actúen sobre el extremo nervioso de la unión neuromuscular de los músculos intercostales inhibiendo la liberación del neurotransmisor acetilcolina. También es probable que las  $\alpha$ -



neurotoxinas, de acción postsináptica, bloquean el receptor colinérgico paralizando los músculos respiratorios, afectando el proceso de inspiración, el ritmo respiratorio y la tasa de consumo de oxígeno, causando la muerte de la presa.

Por otra parte, se ha demostrado que algunos venenos de elápidos contienen potentes miotoxinas, tales como la notexina y la taipoxina, aisladas del veneno de elápidos de Australia *Notechis scutatus* y *Oxyranus scutellatus*, respectivamente (Harris *et al.*, 1975; Harris y Maltin, 1982). Al igual que estas serpientes australianas, se ha probado experimentalmente que los venenos de *M. n. nigrocinctus* inducen un claro efecto miotóxico en ratones (Gutiérrez *et al.*, 1980, 1983, 1986, 1992) y se han aislado varias fosfolipasas A<sub>1</sub> miotóxicas de este veneno (Arroyo *et al.*, 1987; Alape-Girón, *et al.*, 1999). Se demostró claramente en esta investigación que el veneno de *M. n. nigrocinctus* tiene una actividad miotóxica no sólo en ratones sino también en sus presas naturales como lo representa *G. godmani*.

La actividad miotóxica se demostró histológicamente, mediante la observación de abundantes fibras musculares necróticas en músculos intercostales de la región alcedaña al sitio de la inyección del veneno. Estas lesiones no se deben al efecto mecánico de la inyección, ya que animales tratados de la misma manera, pero con solución salina, no presentaron ninguna alteración. La morfología microscópica del músculo lesionado es muy similar a lo que se ha descrito en músculo de ratón inyectado con este mismo veneno (Gutiérrez *et al.*, 1986). El hallazgo más conspicuo lo constituye la hipercontracción de los miofilamentos. Este es un signo característico en muchos tipos de necrosis muscular y posiblemente sea una consecuencia de un aumento en la concentración citosólica del ion calcio, lo cual activa el mecanismo contráctil intracelular basado en la interacción de actina y miosina

(Gutiérrez *et al.*, 1984, 1986) La observación de hipercontracción sugiere que el veneno actúa afectando directamente la membrana de las células musculares, alterando su permeabilidad y permitiendo el influjo de calcio. Este mecanismo se ha propuesto para explicar la acción de muchas miotoxinas de muchos vipéridos y elápidos (Gutiérrez y Lomonte, 1997), incluyendo una fosfolipasa miotóxica aislada del veneno de *M. n. nigrocinctus* (Arroyo *et al.*, 1987). El infiltrado inflamatorio observado en períodos de tiempo más tardío también es característico de otros modelos de lesión muscular. Las células inflamatorias son atraídas al músculo afectado mediante la producción de sustancias quimiotácticas que se liberan producto de la reacción inflamatoria posterior a la necrosis (Gutiérrez *et al.*, 1984, 1986).

No se observaron mayores cambios histológicos en corazón ni en pulmón, aunque en algunos cortes de pulmón se evidenció una leve hemorragia. Estos resultados sugieren que el veneno de *Micrurus n. nigrocinctus* no presenta una acción cardiotoxica evidente ni induce un cuadro de edema pulmonar importante en sus presas naturales.

En síntesis, las observaciones histológicas y del efecto del veneno en los movimientos de las serpientes sugieren que en *Geophis*, al igual que en roedores, el veneno de *M. n. nigrocinctus* induce fundamentalmente efectos neurotóxico y miotóxico.

Por último, Alape *et al.* (1997) sugirieron que el veneno de *Micrurus n. nigrocinctus* contiene múltiples  $\alpha$ -neurotoxinas e isoformas de fosfolipasas A<sub>2</sub> tóxicas y no existe una única toxina letal predominante. Es muy probable, según estos autores, que la letalidad del veneno de esta serpiente coral resulta de una acción combinada de varias neurotoxinas.<sup>6</sup> Sería muy interesante realizar estudios acerca de la importancia de las fosfolipasas A<sub>2</sub> tóxicas y  $\alpha$ -neurotoxinas para

delucidar el efecto letal del veneno de esta serpiente sobre sus presas naturales, un misterio que aún prevalece.

### Literatura Citada

- Aird, S.D. y Da Silva, N.J. 1991. Comparative enzymatic composition of Brazilian coral snake (*Micrurus*) venoms. *Comp. Biochem. Physiol.*, 99B: 287-294.
- Alape-Girón, A. 1997. Immunochemical, biochemical and evolutionary studies on *Micrurus nigrocinctus nigrocinctus* venom toxins. Tesis Ph.D., Karolinska Institutet, Stockholm, Sweden.
- Alape-Girón, A., Gustafsson, B., Lomonte, B., Thelestam, M., y Gutiérrez, J.M. 1994a. Immunochemical characterization of *Micrurus nigrocinctus nigrocinctus* venom with monoclonal y polyclonal antibodies. *Toxicon*, 32: 695-712.
- Alape-Girón, A., Lomonte, B., Gustafsson, B., Da Silva, N., y Thelestam, M., y Gutiérrez, J.M. 1994b. Electrophoretic and immunochemical studies of *Micrurus* snake venoms. *Toxicon*, 32: 713-724.
- Alape-Girón, A., Stiles, B., Schmidt, J., Girón-Cortés, M., Thelestam, M., Jornvall, H. y Bergman, T. 1996. Characterization of multiple nicotinic acetylcholine receptor-binding proteins and phospholipases A<sub>2</sub> from the venom of the coral snake *Micrurus nigrocinctus nigrocinctus*. *FEBS Letters*, 380: 29-32.
- Alape-Girón, A., Person B., Cederlund, E., Flores-Díaz, M., Gutiérrez, J.M., Thelestam, M., Bergman, T. y Jornvall, H. 1999. Elapid venom toxins: multiple recruitment of ancient scaffolds. *European Journal of Biochemistry*, 259: 225-234.

- Arroyo, O., Rosso J.P., Vargas, O., Gutiérrez J.M. y Cerdas L. 1987. Skeletal muscle necrosis induced by a phospholipase A2 isolated from the venom of the coral snake *Micrurus nigrocinctus nigrocinctus*. *Comp. Biochem. And Physiol.*, 87B: 949-952.
- Bolaños, R. 1984. Serpientes, Venenos y Ofidismo en Centroamérica. San José, Costa Rica, Editorial Universidad de Costa Rica.
- Bonnet, D.E. y Guttman, S.I. 1971. Inhibition of mocassin (*Agkistrodon piscivorus*) venom proteolytic activity by the serum of the Florida king snake (*Lampropeltis getulus floridana*). *Toxicon*, 9: 417.
- Campbell, J. A. y Lamar, W.W. 1989. The Venomous Reptiles of Latin America. 425 p.
- Chang, C.C. y Lee, C.Y. 1966. Electrophysiological study of neuromuscular blocking action of cobra neurotoxin. *Br. J. Pharmac.*, 28: 172.
- Duften, M. J. y Hider, R. C. 1991. The structure and pharmacology of elapid cytotoxins. En: Snake Toxins (Harvey, A.,Ed.). Pergamon Press.
- Gené, J.A. y Robles, A. 1986. Determinación de la Dosis Letal 50% por el método de Spearman-Karber. *Revista Médica del Hospital Nacional de Niños (Costa Rica)*, 22: 35-40.
- Goularte, M.F., Cruz-Hoffling, M.A., Cogo, J.C., Gutiérrez, J.M. y Rodríguez-Simioni, L. 1995. The ability of specific antivenom and low temperature to inhibit myotoxicidad and neuromuscular block induced by *Micrurus nigrocinctus* venom. *Toxicon* 33: 679-689.
- Gutiérrez, J. M. 1993. Fisiopatología del envenenamiento ofídico en Costa Rica: En Memorias del seminario: El Envenenamiento Ofídico: Fisiología y Tratamiento. Instituto Clodomiro Picado. Universidad de Costa Rica. 27 p.

- Gutiérrez, J. M. y Lomonte, B. 1997. Phospholipase A<sub>2</sub> myotoxins from *Bothrops* snake venoms. In: Venom phospholipase A<sub>2</sub> enzymes: structure, function and mechanism. (Kini, R.M., Ed.) John Wiley & Sons.
- Gutiérrez, J. M., Chaves, F., Rojas, E. y Bolaños R. 1980. Local effects induced by *Micrurus nigrocinctus* venom in white mice. *Toxicon*, 18: 633-639.
- Gutiérrez, J. M., Lomonte B., Portilla E., Cerdas L. y Rojas E. 1983. Local effects induced by coral snake venoms: evidence of myonecrosis after experimental inoculations of venoms from five species. *Toxicon*, 21: 777-783.
- Gutiérrez, J.M., Ownby, C. Y Odell, G. 1984. Isolation of a myotoxin from *Bothrops asper* venom: partial characterization and action on skeletal muscle. *Toxicon*, 22: 115-128.
- Gutiérrez, J. M., Arroyo, O , Chaves, F., Lomonte, B. y Cerdas, L. 1986. Pathogenesis of myonecrosis induced by coral (*Micrurus nigrocinctus*) venom in mice. *Br. J. Exp. Pathol.*, 67: 1-12.
- Gutiérrez, J.M., Rojas, G., Da Silva, N., y Nuñez, J. 1992. Experimental myonecrosis induced by the venoms of South American *Micrurus* (snakes coral). *Toxicon*, 30: 1299-1302.
- Harris, J.B. y Maltin, C.A. 1982. Myotoxic activity of the crude venom and the principal neurotoxin, taipoxin, of the Australian taipan, *Oxyuranus scutellatus*. *Br. J. Pharmac.*, 76: 61.
- Harris, J.B., Johnson, M.A. y Karlsson, E. 1975. Pathological responses of rat skeletal muscle to a single subcutaneous injection of a toxin isolated from the venom of the Australian tiger snake, *Notechis scutatus scutatus*. *Clin. Exp. Pharmac. Physiol.*, 2: 383.

- Hoffling, M A C , Rodríguez-Simioni, L. y Brazil, O. V. 1983/84. Ultrastructural changes in neuromuscular junctions of mouse diaphragm caused by the venom of the coral snake *Micrurus corallinus*. Mem. Inst. Butantan., 47/48: 95-105.
- Jiménez-Porras, J.M. 1968. Pharmacology of peptides and proteins in snakes venoms. A. Rev. Pharm. 8: 299-318.
- Jiménez-Porras, J.M., Gómez-Leiva, M.A., Rodríguez-Barquero, J.A., Minton, S.A., Jr., Graydon, J.J. y Amaral, A. do. 1973. Reptile toxins. En: Biology Data Book, Vol. II, 697 p. Federation of American Societies for Experimental Biology (FASEP).
- Jorge da Silva, N. Jr., y Aird, S.D. 2000. Prey specificity, comparative lethality and compositional differences of coral snakes venoms. Comp. Biochem. Physiol. Part C, 128: 425-456.
- Kochva, E. 1987. The origin of snakes and evolution of the venom apparatus. Toxicon, 25: 65-106.
- Lec, C.Y. y Tscng, L.F. 1969. Species differences in susceptibility to edapid venoms. Toxicon, 7: 89-93.
- Lomonte, B., Cerdas L., Solórzano A. y Martínez S. 1989. El suero de neonatos de *Clelia clelia* (Serpentes: Colubridae) neutraliza la acción hemorrágica del veneno de *Bothrops asper* (Serpentes: Viperidae). Rev. Biol. Trop., 38(2): 325-326.
- McDowell, S B. 1987. Systematics. En: Snakes: Ecology and Evolutionary Biology (Seigel, R. A , Collins, J. T., Novak, S.S., Eds.). MacMillan Publishing Co.
- Mejía, R. A. 1987. Serpientes de Colombia su relación con el hombre. Secretaría de Educación y Cultura de Antioquia, Medellín. 229 p.
- Minton, A.S. y Minton, M.R. 1981. Toxicity of some Australian snake venoms for potential prey species of reptiles and amphibians. Toxicon, 19: 749-755.

- Moussatche, H., y Meléndez, T. 1979. Some pharmacological observation with Elapidae and Crotalidae snake venoms in the guinea-pig denervated diaphragm on the specificity of the cholinergic blockade by their venoms. *Revista Brasileira de Biologia*, 39:605-610.
- Parker, H.W. y Bellairs, A. 1975. Los anfibios y los reptiles. Ediciones Destino-Barcelona. España. 423 p.
- Rosenfeld, G. 1971. Symptomatology, pathology and treatment of snake bites in South America. En: *Venomous Animals and their Venoms*. New York: Academic Press.
- Rosso, J.P., Vargas-Rosso, O., Gutiérrez, J.M., Rochat, H., y Bougis, P.E. 1996. Characterization of  $\alpha$ -neurotoxin and phospholipase A2 activities from *Micrurus* venoms. *European Journal of Biochemistry*, 238: 231-239.
- Russell, F. E. 1983. Snake venom poisoning. Great Neck, New York, Scholium Internacional. 562 p.
- Vital Brazil, O. 1987. Coral snake venoms: mode of action and pathophysiology of experimental envenomation. *Rev. Inst. Trop. Sao Paulo*, 29: 119-126.
- Vital Brazil, O. y Fontana, M.D. 1983/1984. Presynaptic and postsynaptic actions of the venom from the coral snake *Micrurus corallinus* in neuromuscular junctions. *Mcm. Inst. Butantan*, 47/48: 13-26.
- Weis, R. y McIsaac, R.J. 1971. Cardiovascular and muscular effects of venom from coral snake, *Micrurus fulvius*. *Toxicon*, 9:219-228.

## Capítulo 3

### Conclusiones

Terminada la investigación sobre el comportamiento alimentario de la serpiente coral *Micrurus nigrocinctus nigrocinctus* en cautiverio se puede concluir lo siguiente:

- La serpiente coral *Micrurus n. nigrocinctus* utiliza una mezcla de sus sentidos para buscar, localizar y capturar a sus presas naturales, siendo la visión y la quimiorrecepción las que provocan el ataque hacia las mismas.
- Esta serpiente comunmente captura y traga a sus presas por la cabeza y en pocas ocasiones las libera después de inyectarles el veneno.
- Al igual que otros elápidos, *Micrurus n. nigrocinctus* utiliza una serie de patrones para manipular la presa que van desde simples (agarra, sujeta e inmoviliza) hasta complejos (ataca, muerde, inyecta veneno, libera, relocaliza y traga).
- El veneno juega un papel de suma importancia en la inmovilización de la presa, pero poco en la digestión, en contraste con lo que ocurre en vipéridos.
- Se demostró que existe una diferencia bien marcada en la susceptibilidad al veneno de esta serpiente coral entre sus presas, siendo *G. godmani* la más susceptible y la menos *N. maculata*.
- Estas diferencias pueden deberse a ciertos mecanismos de resistencia al veneno neurotóxico en los que se incluye la presencia de factores séricos neutralizantes o a modificaciones en la estructura del receptor de acetilcolina.



- El veneno de este elápidó inmoviliza la presa causando una parálisis de los músculos de la respiración hasta que finalmente dejan de funcionar y la presa al cabo de cierto tiempo muere.
- Al igual que en ratones, el veneno induce una prominente mionecrosis la cual fue observada histológicamente y caracterizada por una conspicua alteración en la estructura intracelular.
- Además, este produjo un edema evidente en el sitio de la mordida y no se observó cambios histológicos en el corazón y pulmón, aunque en algunos cortes histológicos (pulmón) se presentó una leve hemorragia.