



UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO  
Coordinación de Estudios de Posgrado  
Facultad de Biología

Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas  
Opción en Ecología y Conservación

---

“Dinámica poblacional de *Hadrurus gertschi* Soleglad  
1976 (Scorpiones: Iuridae) en una localidad del estado  
de Guerrero, México.”

**TESIS**

PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

**ANA F. QUIJANO RAVELL**

**TUTOR:**  
**DR. JAVIER PONCE SAAVEDRA (UMSNH)**

**CO-TUTOR:**  
**DR. OSCAR F. FRANCKE BALLVE (IBUNAM)**

## AGRADECIMIENTOS

## CONTENIDO

CONTENIDO .....	i
I. RESUMEN .....	v
II. SUMMARY .....	1
III. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	2
IV. OBJETIVOS.....	10
Objetivo General (1).....	10
Objetivos particulares:.....	10
Objetivo General (2).....	10
Objetivos particulares:.....	10
Objetivo General (3).....	11
Objetivos particulares:.....	11
V. RESULTADOS.....	12
CAPITULO I. Ciclo de vida de <i>Hadrurus gertschi</i> Soleglad (Scorpiones, Luridae) en una localidad del Estado de Guerrero, México. ....	12
Resumen.....	12
Abstract .....	13
Introducción .....	14
Materiales y Métodos.....	16
Localización del Área.....	16
Trabajo de Campo.....	17
Análisis de datos. ....	20
Resultados.....	23
Factor de Crecimiento.....	23
Fenología .....	24

Patrón de actividad.....	30
Ciclo de vida .....	32
Discusión.....	35
Factor de crecimiento.....	35
Fenología .....	36
Patrón de actividad.....	38
Ciclo de vida .....	40
Agradecimientos.....	41
Referencias.....	42
CAPITULO II. Densidad, distribución espacial y biomasa de <i>Hadrurus gertschi</i> Soleglad (Scorpiones, Luridae) en una localidad de Guerrero, México. ....	45
Resumen.....	45
Abstract. ....	46
Introducción .....	47
Materiales y Métodos.....	49
Localización del Área.....	49
Trabajo de Campo.....	50
Análisis de datos .....	51
Distribución espacial de <i>H. gertschi</i> .....	52
Biomasa .....	52
Resultados.....	54
Densidad .....	54
Distribución espacial de <i>H. gertschi</i> .....	54
Biomasa en peso fresco .....	55
Discusión.....	58
Densidad .....	58

Biomasa .....	60
Distribución Espacial.....	61
Agradecimientos.....	61
Referencias.....	62
CAPITULO III. Caracterización de las madrigueras de <i>Hadrurus gertschi</i> Soleglad (Scorpiones: Iuridae) en una localidad de Guerrero, México. ....	
	64
Resumen.....	64
Abstract .....	65
Introducción .....	66
Materiales y Métodos.....	68
Localización del Área.....	68
Trabajo de Campo.....	69
Análisis de datos .....	72
Entradas de las madrigueras .....	72
Exposición y caracterización de madrigueras.....	72
Análisis de “Túmulo” .....	73
Resultados.....	74
Entradas de las madrigueras .....	74
Exposición y caracterización de madrigueras.....	76
Análisis de “Túmulo” .....	81
Discusión.....	83
Utilidad de las entradas de las madrigueras .....	83
Exposición y caracterización de madrigueras.....	84
Análisis de “Túmulo” .....	86
Agradecimientos.....	87
Literatura citada.....	88

VI. DISCUSIÓN GENERAL.....	90
Factor de crecimiento.....	90
Fenología .....	91
Patrón de actividad.....	91
Ciclo de vida .....	93
Densidad .....	94
Biomasa .....	96
Distribución Espacial.....	97
Utilidad de las entradas de las madrigueras .....	97
Exposición y caracterización de madrigueras.....	98
VII. CONCLUSIONES.....	101
VIII. LITERATURA GENERAL.....	103

## I. RESUMEN

SE PRESENTA EL ESTUDIO DE LA DINÁMICA POBLACIONAL DE *HADRURUS GERTSCHI*, SOLEGLAD 1976, CON LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN CAMPO DURANTE UNA UN AÑO DEMUESTREOS Y OBSERVACIONES MENSUALES EN 5 CUADRANTES DE 400 m<sup>2</sup> CON EXPOSICIONES DISTINTAS (N, S, E, O Y UNO PLANO).

SE TRABAJARON TRES ASPECTOS DIFERENTES DE LA BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DE LA ESPECIE: EL CICLO DE VIDA, LA ESTRUCTURA DE LA POBLACIÓN Y LA ABUNDANCIA MEDIDA EN DENSIDAD DE MADRIGUERAS Y FINALMENTE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS MADRIGUERAS. PARA EL CICLO DE VIDA SE REVISARON 249 EJEMPLARES CAPTURADOS Y MEDIDOS EN CAMPO DURANTE UN CICLO ANUAL (AGOSTO 2008- JULIO 2009) PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE ETAPAS FENOLÓGICAS O ESTADIOS POR LOS QUE PASA UN ALACRÁN DESDE SU NACIMIENTO HASTA QUE ES ADULTO. UNA VEZ DETERMINADOS LOS ESTADIOS Y SUS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS, SE HIZO LA ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE CRECIMIENTO EL CUAL ES LA PROPORCIÓN EN QUE SE INCREMENTA EL TAMAÑO DEL ANIMAL ENTRE UNA MUDA Y OTRA, HASTA LA FASE ADULTA Y QUE EN GENERAL SE CONSIDERA SE ENCUENTRA ALREDEDOR DEL VALOR DETERMINADO POR DYAR (1890) DE 1.27. SE UTILIZARON VARIAS ESTRUCTURAS Y SE ENCONTRÓ QUE PARA ESTA ESPECIE VARÍA DE 1.27 PARA LA LONGITUD DEL CEFALOTÓRAX HASTA 1.30 EN LA LONGITUD DE LA QUELA, LO QUE INDICA UN CRECIMIENTO LIGERAMENTE ALOMÉTRICO, LO QUE YA SE HABÍA REPORTADO PARA OTRAS ESPECIES DE ALACRANES (FRANCKE 1976, SISSOM, 1980; SISSOM Y FRANCKE, 1983, BROWN 1997, PONCE 2003). SE DETERMINÓ QUE LA ESPECIE PASA EL PRIMER ESTADIO EN LA MADRIGUERA CON SU MADRE Y EN EL SEGUNDO SE DISPERSA Y SE REQUIEREN DE 6 MUDAS MÁS PARA LLEGAR AL ESTADO ADULTO LO QUE SE ALCANZA EN APROXIMADAMENTE 4 AÑOS.

EN EL APARTADO REFERENTE A LA ESTRUCTURA DE LA POBLACIÓN SE UTILIZARON DOS FASES SOLAMENTE: JUVENILES Y ADULTOS. LOS ADULTOS SE SEXARON PARA USAR LA PROPORCIÓN DE HEMBRAS Y MACHOS. SE ENCONTRÓ QUE EL 81.44% DE LA POBLACIÓN SON JUVENILES Y EL 18.56 % ADULTOS AL CONSIDERAR TODAS LAS OBSERVACIONES DE UN AÑO; SIN EMBARGO AL REVISAR LO QUE OCURRIÓ MENSUALMENTE, LAS PROPORCIONES CAMBIAN DEBIDO A QUE NO TODOS LOS ESTADIOS ESTÁN ACTIVOS AL MISMO TIEMPO Y A LA ÉPOCA DE APAREAMIENTO

EN QUE SE MANIFIESTA MAYOR ACTIVIDAD SUPERFICIAL EN LOS MACHOS. LA DENSIDAD SE CALCULÓ UTILIZANDO LAS MADRIGUERAS ACTIVAS Y SE OBTUVIERON DIFERENTES DENSIDADES POR CUADRANTE, AUNQUE LAS PRUEBAS ESTADÍSTICAS NO MOSTRARON DIFERENCIA SIGNIFICATIVA DEBIDA A LA EXPOSICIÓN ( $P>0.05$ ). LOS MESES DE MAYOR ACTIVIDAD FUERON: JUNIO Y JULIO. LA DENSIDAD OBTENIDA (0.345 MADRIGUERAS POR  $m^2$ ) ES MUY INFERIOR A LA REPORTADA POR WILLIAMS (EN POLIS 1990) PARA *HADRURUS SPP.* (PROBABLEMENTE *H. CONCOLOROUS*); SIN EMBARGO NUESTRO TRABAJO TIENE DATOS DE CAMPO MIENTRAS QUE EL DE WILLIAMS ES UNA OBSERVACIÓN PERSONAL QUE PROBABLEMENTE TIENE EL SESGO DE UNA SOLA OBSERVACIÓN. LA BIOMASA SE CALCULÓ EN FRESCO (6190.02 g/HA) USANDO VALORES PROMEDIO POR EDAD DEL ANIMAL Y PARA PODER COMPARAR CON OTRAS ESPECIES, PERO TAMBIÉN EN SECO (2471.26 g/HA) COMO UNA OPCIÓN QUE EN OTROS TRABAJOS PERMITA OBTENER ESTA INFORMACIÓN DE MATERIAL QUE NO HAYA SIDO RECIENTEMENTE COLECTADO Y SEA COMPARABLE. SE ENCONTRÓ UNA RELACIÓN EXPONENCIAL ENTRE LA BIOMASA Y EL ESTADIO DEL ANIMAL QUE MUESTRA UN INCREMENTO DE TAMAÑO LIGERAMENTE MAYOR EN LAS ETAPAS PRIMARIAS DE DESARROLLO.

LAS MADRIGUERAS SE CARACTERIZAN POR UNA ENTRADA ELÍPTICA QUE VA CAMBIANDO DE TAMAÑO DE ACUERDO CON LA EDAD DEL ANIMAL QUE VIVE EN LA MADRIGUERA. SE DETERMINÓ QUE LA ANCHURA MÁXIMA DE ESTA ENTRADA RESULTA ÚTIL PARA ESTIMAR LA EDAD DEL ALACRÁN QUE HABITA ALLÍ MEDIANTE UN ANÁLISIS DE REGRESIÓN ( $R^2 = 0.5375$  UN COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE 73.32 %). LA MADRIGUERA SE CONFORMA POR LA ENTRADA A LA QUE LE SIGUE UN TÚNEL QUE PUEDE ESTAR FORMADO POR UNA O DOS SECCIONES. EL TÚNEL ES INCLINADO Y AL FINAL TIENDE A LA HORIZONTAL (MÁS CLARAMENTE OBSERVADO CUANDO HUBO DOS SECCIONES YA QUE LA SEGUNDA ES MUCHO MÁS HORIZONTAL QUE LA PRIMERA). AL FINAL DE LA MADRIGUERA HAY UNA CÁMARA TERMINAL CLARAMENTE MÁS ANCHA QUE LA LUZ DEL TÚNEL Y ES LA ZONA DE REPOSO Y PROTECCIÓN DEL ANIMAL. LA PROFUNDIDAD TOTAL (MEDIDA VERTICALMENTE DEL PLANO DEL SUELO A LA CÁMARA TERMINAL) VARÍA CON LA EDAD DEL ANIMAL QUE HABITA LA MADRIGUERA DE 15.25 CM EN PROMEDIO PARA EL ESTADIO MAS PEQUEÑO Y HASTA 32 CM EN PROMEDIO PARA LOS ADULTOS. LO MISMO OCURRE CON LA LONGITUD MÁXIMA (MEDIDA COMO LA LONGITUD DEL TÚNEL DESDE LA ENTRADA HASTA LA CÁMARA TERMINAL). LAS MADRIGUERAS CON UNA SECCIÓN TUVIERON EN PROMEDIO UNA LONGITUD TOTAL DE 32.54 CM  $\pm$



**22.12; MIENTRAS QUE EN LAS DE DOS SECCIONES FUE DE 44.56 CM ± 14.58. LA FORMA DE LA MADRIGUERA VARIÓ DE SIMPLE CON SOLO LA ENTRADA, EL TÚNEL Y LA CÁMARA TERMINAL, A MADRIGUERAS CON DOS SECCIONES, LA PRIMERA SECCIÓN EN UNA DIRECCIÓN Y LA SEGUNDA EN OTRA DIRECCIÓN VARIANDO EN PROFUNDIDAD, CONFORMANDO UNA MADRIGUERA EN ESPIRAL CON UNA CÁMARA INTERMEDIA ENTRE LAS DOS SECCIONES.**

## II. SUMMARY

### III. INTRODUCCIÓN GENERAL

El orden de los escorpiones es un grupo de artrópodos quelicerados terrestres que presentan hábitos nocturnos, durante el día se ocultan bajo piedras, troncos y grietas o en galerías que cavan ellos mismos en el sustrato; la mayor parte del tiempo se encuentran en sus refugios de donde solo salen para alimentarse y reproducirse (Polis 1990, Warburg y Polis 1990). Tienen una actividad estacional marcada, la cual, para la mayoría de las especies es estival. En general los escorpiones son animales estenoicos y poco móviles (Lourenço 1994, 2002; Prendini 2001).

Aunque los escorpiones son más diversos en los desiertos, algunos de ellos se encuentran en todos los ecosistemas de la tierra, con la excepción de la Antártida. Algunas especies pueden ser exclusivas de cuevas (troglóbias), otras pueden ser encontradas en cuevas al igual que en otros hábitats (troglófilos). Los escorpiones que viven en madrigueras (fosoriales) o cuevas en algunos casos muestran grandes adaptaciones a su medio, estas pueden ser pérdidas o modificaciones (cambios en la pigmentación, pérdida total o parcial de ojos, reducción o aumento en tamaño, etc.). En el caso de los alacranes del género *Hadrurus* las ocho especies que le comprenden son de hábitos fosoriales y raramente vagan lejos de la entrada de su madriguera. En consecuencia, estos escorpiones eran relativamente raros en colecciones antes de que la luz ultravioleta se utilizara como técnica de colecta (Polis 1990, Sissom et al.1990).

El conocimiento de los escorpiones mexicanos es escaso. La mayor parte de la información está referida a aspectos sistemáticos y taxonómicos, incluyendo catálogos de especies, revisiones de géneros, redescriptiones de especies y descripciones de otras nuevas. De acuerdo a estos antecedentes, la escorpiofauna mexicana cuenta aproximadamente con 216 especies descritas, lo que representa casi un octavo de la fauna mundial descritas para este grupo (Lourenco y Sissom 2000; Fet et al 2000; González-Santillán 2001; Ponce 2003).

Los trabajos taxonómicos más importantes para el país son la parte de escorpiones de la Biología Centrali-Americana (Pocock 1902), las monografías para la Entomología Médica de México (Hoffmann 1931; 1932), el capítulo Scorpiones en: Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México (Lourenço & Sissom 2000) y el Catálogo de los alacranes de México (Beutelspacher 2000).

El conocimiento cuantitativo sobre parámetros demográficos y ecológicos de los alacranes a la fecha son escasos; las estimaciones de densidad detectadas en los informes médicos o descripciones taxonómicas sólo mencionan si la especie es "abundante" o "escasa" (Ponce 2003), el conocimiento cuantitativo de la densidad y otros parámetros demográficos que son fundamentales para el estudio de los escorpiones están siendo generados con trabajos como el que ahora se presenta. En todo el mundo se tienen conocimientos básicos de ecología de poblaciones de muy pocas especies: *Paruroctonus mesaensis* Stahnke 1957 (Polis y McCormick 1986) y *Vaejovis* aff. *occidentalis* (Ponce y Díaz-Mora 2002) de la familia Vaejovidae; *Urodacus yaschenko* (Birula 1903) (Shorthouse 1971) y *Urodacus manicatus* (Thorell, 1876)(Smith 1966) de la familia Urodacidae; *Centruroides balsasensis* Ponce y Francke 2004 (Ponce 2003, Ponce et al. 2006), *Centruroides vittatus* (Say 1821) (Brown 2001, Brown et al. 2002; Yamashita 2004) y *Centruroides limpidus* (Karsch 1879) (Ponce y Vázquez 2007) de la familia Buthidae.

Los alacranes son un buen modelo para estudiar la dinámica poblacional, por tener un ciclo de vida largo y lento comparado con la mayoría de los artrópodos, así como por alcanzar tamaños corporales relativamente grandes sin la complejidad de las historias de vida de los vertebrados (Benton 2001). Los ciclos de vida de los escorpiones tienen grandes tiempos generacionales (Polis 1990), aún en especies típicamente colonizadoras como los Buthidae se requiere de más de un año para completar un ciclo (Ponce 2003, Ponce et al. 2006). Su actividad depredadora se ha reconocido como un regulador natural de poblaciones de insectos y otros arácnidos (Polis 1990); sin embargo se desconoce mucho sobre su biología, por lo que es

necesario hacer estudios de este tipo para tener elementos objetivos sobre la importancia de este grupo de arácnidos en sus hábitats naturales.

Durante una visita de colecta general en julio de 2006 se notó: (a) alta densidad de madrigueras de *H. gertschi* en la zona y (b) la captura de solo tres estadios aparentemente separados por dos mudas uno del otro sugiriendo una fenología sincronizada para esta especie; motivo por el cual surgió el interés por estudiar el comportamiento de esta especie, iniciando con trabajos de campo en los primeros meses de 2008 para establecer el área de estudio, hacer los primeros monitoreos y determinar el seguimiento durante un ciclo anual a partir del mes de agosto de ese año. La localidad en la cual se realiza este trabajo se caracteriza por una vegetación de bosque tropical seco (Rzedowski 1978), en la que *H. gertschi* comparte este hábitat con tres especies de escorpiones; *Centruroides limpidus* Karsch, *Vaejovis variegatus* Pocock 1898 and *Vaejovis atenango* Francke y González-Santillán 2007.

Tomando como referencia la clasificación de Francke y Prendini (2008), la familia Luridae Thorell 1876 está conformada por cinco géneros, uno de los cuales es *Hadrurus* Thorell 1876, el cual comprende a ocho especies: *H. arizonensis* Ewing 1928, *H. aztecus* Pocock 1902, *H. concolorous* Stahnke 1969, *H. gertschi* Soleglad 1976, *H. hirsutus* (Wood, 1863), *H. obscurus* Williams 1970, *H. pinteri* Stahnke 1969 y *H. spadix* Stahnke 1940; esta última especie es la única del género que no se encuentra registrada para México. Las ocho especies de *Hadrurus* tienen hábitos fosoriales, y rara vez vagan lejos de la entrada de su madriguera (Francke y Prendini 2008).

Son pocos los trabajos realizados para la familia Luridae. Desde el punto de vista morfológico se han hecho algunos trabajos como los de Soleglad (1976) quien realizó un estudio en el que se establecieron criterios de diferenciación de las especies del género utilizando sólo el patrón tricobotrial de la quela; Francke y Soleglad (1981) que realizaron un estudio de la familia en el cual presentan claves para géneros y hacen también una comparación y diagnóstico de los grupos dando una explicación sobre la distribución geográfica actual de la familia presentando un cladograma hipotético de sus

relaciones filogenéticas. En este mismo trabajo se comparan las tricobotrias de las quelas, la dentición de los quelíceros y el hemiespermatóforo.

El veneno ha sido objeto de estudios para determinar diferentes aspectos, así por ejemplo, Schwartz et al. (2007) realizaron el análisis de proteínas para la secuenciación del veneno y también el aislamiento de las toxinas que este contiene.

Se conocen pocos datos ecológicos del género *Hadrurus*, como su densidad en los desiertos de Baja California en donde para *H. hirsutus* y *Hadrurus* spp. (probablemente *H. concolorous*) se reportan densidades de 0.5 ind./m<sup>2</sup> a partir de datos no publicados (Polis 1990). Aspectos fenológicos de *Hadrurus arizonensis* fueron trabajados por Williams (1968) y recientemente en *H. gertschi*.

En cuanto a biología reproductiva, hay trabajos generales como el de Lourenço (2000) quien realiza un trabajo en el que presenta una síntesis de todos los aspectos de la reproducción de escorpiones, el cortejo y apareamiento, el desarrollo embrionario, el proceso del nacimiento, y de varios aspectos de la vida; así como una sección especial que está dedicada al fenómeno de la partenogénesis en escorpiones. Los escorpiones de la familia Luridae son apoicogénicos. Los ovocitos de los escorpiones apoicogénicos se desarrollan en los folículos ováricos, los cuales están unidos directamente al ovariutero. Estos ovocitos son variables en tamaño y contenido de la yema, en Luridae y Vaejovidae los huevos son pequeños y con menos yema que otras familias de alacranes apoicogénicos y pueden ser alécitos, isolécitos o telolécitos. Se desarrollan en membranas extraembrionarias las cuales se rompen durante el parto o inmediatamente después de este. Los recién nacidos nacen con la cabeza primero o con la cola en primer lugar de manera aleatoria, a diferencia de los katoicogénicos que siempre nacen con la cola por delante (Francke 1982 en Polis y Sissom 1990).

Con respecto al comportamiento de parto y nacimiento en escorpiones no se tiene ningún dato válido publicado para la familia Luridae; sin embargo; la gestación y parto en los *Hadrurus* al parecer están sincronizados (Polis y Sissom 1990). Varios

factores pueden ser los causantes de promover la sincronía y Francke (1979), propone que la sincronización de la época de apareamiento puede producir una sincronía en el periodo de parto.

La gestación en el género *Hadrurus* varía entre 6 y 8 meses, el parto tiene una duración de 1 hora (estos se ha registrado en *H. arizonensis* y *H. pinteri*); y el tamaño de la camada va desde 10 hasta 34 crías (Polis y Sissom 1990).

Los estudios para la determinación de los estadios necesarios para alcanzar la edad adulta se basan en el factor de crecimiento, usando como referencia el factor de Dyar (1890 en Francke y Sissom 1984), el cual es una progresión geométrica ( $^3\sqrt{2} = 1.26$ ) entre una muda y otra que puede aplicarse a diversas estructuras, principalmente la longitud del caparazón cefalotorácico.

En alacranes hay tres métodos para determinar el número de estadios necesarios para llegar a la madurez: (a) el método indirecto mediante el cual se establecen clases de tamaño en las muestras disponibles las cuales se equiparan a los estadios; (b) el método directo que requiere de la cría de los especímenes en laboratorio hasta que alcancen la madurez y (c) el método mixto propuesto por Francke (1976) y que consiste en usar los valores obtenidos de una historia de vida parcial y extrapolar mediante el factor de crecimiento el resto de los estadios, método usado ya en otros trabajos (Ponce y Mora 2002, Ponce 2003).

La biomasa es un factor importante a considerar en los análisis de población (Polis 1990); la forma más fácil de estimar la biomasa es la multiplicación de la densidad promedio de los individuos por el promedio de masa corporal; sin embargo, las diferencias en el tamaño y la edad deben ser consideradas, lo que modifica las estimaciones (Polis 1990, Ponce 2003).

Polis (1990) presenta datos sobre la densidad de algunas especies en los que se aprecian valores tan altos como 8 a 12 animales por  $m^2$  en *Serradigitus littoralis*

(Williams 1980) de la familia Vaejovidae en Baja California, México, hasta valores tan bajos como 0.0002 alacranes por  $m^2$  para *Tityus fasciolatus* Pessõa 1935 (Buthidae) en Brasilia, Brasil. Hay 21 especies con densidades conocidas menores a  $1/m^2$  y solo tres con valores superiores. En alacranes que se encuentran en México se ha determinado la densidad para 3 especies de la familia Buthidae: Brown et al. (2002) reporta 2.92 ind.  $/m^2$  para *Centruroides vittatus* y Yamashita (2004) reporta para la misma especie 2.41 ind.  $/m^2$ , para *Centruroides balsasensis* 0.18 individuos/ $m^2$  (Ponce 2003), y para *Centruroides limpidus* se reportan de 0.03 a 0.08 ind.  $/m^2$  (Ponce y Vázquez 2007).

Los alacranes pueden vivir en muchas condiciones ambientales distintas y se les puede encontrar en hábitats de zonas tropicales al nivel del mar o en zonas templadas con bosques templados y fríos como vegetación dominante; sin embargo la mayor diversidad conocida corresponde a áreas cálidas y secas, incluyendo condiciones extremas como los desiertos.

Un elemento llamativo de la fauna de escorpiones en las regiones calientes y secas, es la combinación de las adaptaciones etológicas, morfológicas y fisiológicas a las difíciles condiciones en estos hábitats. La más importante de las adaptaciones de comportamiento es la explotación de los hábitos nocturnos y de excavación que ofrecen un escape temporal a las temperaturas extremas durante el día y la desecación de aire en la superficie, así como el mantenimiento de condiciones menos estresantes en el interior de refugios o madrigueras. La protección contra altas temperaturas por una madriguera es evidente. Estudios de comportamiento indican que los escorpiones son capaces de regular su temperatura a través de los movimientos verticales dentro de la madriguera (Hadley 1970).

*Hadrurus gertschi* es un alacrán fosorial que construye madrigueras típicas muy fáciles de identificar en el campo, lo cual facilita considerablemente los estudios de densidad y dispersión poblacional. Los alacranes permanecen en la misma madriguera durante toda su vida y la van agrandando después de cada muda lo cual permite estimar la biomasa presente con mayor precisión. Las madrigueras de los escorpiones



en general están conformadas de forma similar, encontrando especies con madrigueras que presentan un túmulo en la región de la entrada y otras en las cuales se pueden diferenciar dos túmulos que dan la apariencia de rodear la entrada como el caso de *Cheloctonus jonesii* (Pocock, 1892), seguidos de un túnel que en ocasiones se puede prolongar dando una apariencia de espiral. En la parte final de la madriguera se localiza la denominada “cámara terminal” la cual es la porción más amplia de la madriguera. Por su hábito excavador muchas especies presentan modificaciones estructurales, las cuales proporcionan mayor ventaja al momento de la excavación. Algunas especies como *Cheloctonus jonesii* o los géneros *Scorpio* L. y *Hadrurus* presentan modificaciones estructurales en pedipalpos y quelíceros lo que disminuye su gasto de energía en la excavación y en consecuencia un mayor rendimiento energético. Algunas de las modificaciones morfológicas que pueden acompañar el hábito de excavar madrigueras son pedipalpos grandes y voluminosos, que a menudo caracterizan a las especies que cavan madrigueras profundas como los miembros de los géneros *Scorpio* L. y *Hadrurus*, pero también hay excepciones a esta tendencia general que pueden reflejar un papel más importante de los pedipalpos en la captura de presas, el comportamiento de cortejo y funciones defensivas, dejando la excavación en un nivel menor. Por ejemplo, pedipalpos pequeños y delgados se encuentran en dos especies de vejóvidos que habitan en madrigueras, *Vaejovis confusus* y *V. spinigerus*. También otras especies excavadoras, como *Anuroctonus phaiodactylus* (Wood 1863) aparentemente usan sus quelíceros y patas además de los pedipalpos en la construcción de la madriguera (Williams 1966).

El presente trabajo representa apenas el segundo esfuerzo para conocer aspectos de la biología y fenología del género *Hadrurus*, y el primero que aborda la reconstrucción del ciclo de vida y caracterización de las madrigueras de una especie de éste género a partir de datos tomados en su totalidad en campo, combinando estrategias de análisis estadístico clásico con técnicas de análisis multivariado para definir el número de estadios, duración y características de los mismos. También representa el primer trabajo con una especie del género *Hadrurus* en el que se determina la densidad en campo y su fluctuación durante un ciclo anual, así como la

biomasa en fresco y en seco usando la estructura poblacional básica para su determinación.

Se ofrece también una alternativa de conocimiento de las poblaciones de *Hadirus gertschi*, para en el futuro estimar su densidad y estructura poblacional a través de las medidas de la entrada de la madriguera, sin tener que capturar o sacrificar a los ejemplares, lo que constituye una herramienta importante para efectos de conservación de la especie.

## IV. OBJETIVOS

### **Objetivo General (1)**

**Hacer una primera aproximación al ciclo de vida de *H. gertschi* mediante la estimación del número de estadios necesarios para alcanzar el estado adulto.**

#### **Objetivos particulares:**

(1) Obtener mediciones morfométricas de las diferentes edades presentes en el campo, durante un ciclo anual.

(2) Determinar el factor de crecimiento entre estadios para *H. gertschi* y hacer la estimación del número de estadios necesarios para llegar al estado adulto, así como el tiempo necesario para ello.

### **Objetivo General (2)**

**Determinar parámetros poblacionales y autoecológicos de *Hadrurus gertschi* en una localidad el estado de Guerrero, México**

#### **Objetivos particulares:**

(1) Determinar el patrón de distribución espacial de *Hadrurus gertschi* considerando: adultos, juveniles y total de la población.

(2) Determinar la densidad, proporción sexual y estructura de edades para la población de *Hadrurus gertschi* en la localidad.

(3) Estimar la densidad para cada etapa fenológica definida para este estudio: adultos (hembras y machos) y juveniles.

(4) Describir la fluctuación poblacional de *Hadrurus gertschi* (en términos de densidad) durante un ciclo anual.

### **Objetivo General (3)**

**Caracterizar las etapas fenológicas de *H. gertschi* y su relación con el tamaño y forma de las madrigueras, durante un ciclo anual.**

#### **Objetivos particulares:**

(1) Caracterizar las madrigueras y los cambios en forma y/o tamaño asociados con juveniles y adultos (longitud/profundidad, diámetro, forma, variación en cuanto al tipo de suelo).

(2) Caracterizar física y químicamente el sustrato en que se encuentran las madrigueras.

(3) Describir la estructura granulométrica y la composición de los residuos de la entrada de la madriguera (“túmulo”).

## V. RESULTADOS.

### **CAPITULO I. Ciclo de vida de *Hadrurus gertschi* Soleglad (Scorpiones, *Iuridae*) en una localidad del Estado de Guerrero, México.**

(Artículo Corregido y reenviado a la Revista Ibérica de Aracnología en junio de 2010)

Ana F. Quijano-Ravell <sup>1</sup>, Javier Ponce-Saavedra <sup>1</sup>, Oscar F. Francke <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Entomología "Biol. Sócrates Cisneros Paz," Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Edificio B-4, 20 piso. Ciudad Universitaria, 58060 Morelia, Michoacán.

<sup>2</sup> Departamento de Zoología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado Postal 70-153, 04510 México, D. F.

\*Correspondencia: [javierpon@gmail.com](mailto:javierpon@gmail.com)

#### **Resumen**

A partir de datos de campo tomados durante un año de observaciones en "La Coronilla" cerca de Ahuehuepan, municipio de Tepecoacuilco de Trujano, Guerrero, México, se reconstruyó el ciclo de vida de *Hadrurus gertschi* Soleglad 1976. La especie habita en un bosque tropical seco en simpatría con otras tres especies de escorpiones: *Centruroides limpidus* (Karsch 1879), *Vaejovis variegatus* Pocock 1898 and *Vaejovis atenango* Francke y González-Santillán 2007. Se determinó un factor de crecimiento de 1.27 para la longitud del caparazón cefalotorácico y con este valor se estimaron los cambios morfométricos hasta alcanzar el estado adulto y se compararon con los datos obtenidos en campo concluyendo que la especie requiere de 7 estadios, 6 mudas y un mínimo de cuatro años para alcanzar el estado adulto. Se presenta también la fenología de *Hadrurus gertschi* durante un año, medida en abundancia relativa y patrón de actividad superficial. Se registra actividad de apareamiento para los meses de julio y octubre.

**Palabras clave:** Alacranes, ciclo de vida, *Hadrurus gerstchi*, factor de crecimiento, actividad superficial.

## Abstract

The life cycle of *Hadrurus gertschi* Sologlad 1976 was reconstructed from field data taken during one year of observations in “La Coronilla”, near Ahuehuepan, in Tepecoacuilco de Trujano municipality, Guerrero, Mexico. The species inhabits tropical dry scrub forest in sympatry with three other scorpion species: *Centruroides limpidus* (Karsch 1879), *Vaejovis variegatus* Pocock 1898 and *Vaejovis atenango* Francke and González-Santillán 2007. A growth factor of 1.27 for the carapace length was determined and then used to estimate the morphometric changes between each instar to reach the adult stage and compared them with data obtained in the field. We concluded that this species requires 7 instars and 6 molts, and at least four years to reach adulthood. We also present the phenology of *Hadrurus gertschi* during one year, measured in relative abundance and surface activity pattern. Mating activity was observed in July and October.

Key words: Scorpions, life cycle, *Hadrurus gertschi*, growth factor, surface activity.

## Introducción

Tomando como referencia la clasificación de Francke y Prendini (2008), la familia Luridae Thorell 1876 está conformada por cinco géneros, uno de los cuales *Hadrurus* Thorell 1876, comprende a ocho especies: *H. arizonensis* Ewing 1928, *H. aztecus* Pocock 1902, *H. concolorous* Stahnke 1969, *H. gertschi* Soleglad 1976, *H. hirsutus* (Wood, 1863), *H. obscurus* Williams 1970, *H. pinteri* Stahnke 1969 y *H. spadix* Stahnke 1940; esta última especie es la única del género que no se encuentra registrada para México. Las ocho especies de *Hadrurus* tienen hábitos fosoriales, y rara vez vagan lejos de la entrada de su madriguera (Francke y Prendini 2008).

El conocimiento cuantitativo sobre parámetros demográficos y ecológicos que son fundamentales para el estudio de los escorpiones, a la fecha son escasos y están siendo generados con trabajos como el que ahora se presenta. En todo el mundo se tienen conocimientos básicos de ecología de poblaciones de muy pocas especies: *Paruroctonus mesaensis* Stahnke 1957 (Polis y McCormick 1986) y *Vaejovis aff. occidentalis* (Ponce y Díaz-Mora 2002) de la familia Vaejovidae; *Urodacus yaschenkoi* (Birula 1903) (Shorthouse 1971) y *Urodacus manicatus* (Thorell, 1876)(Smith 1966) de la familia Urodacidae; y *Centruroides balsasensis* Ponce y Francke 2004 (Ponce 2003, Ponce et al. 2006), *Centruroides vittatus* (Say 1821) (Brown 2001, Brown et al. 2002; Yamashita 2004) y *Centruroides limpidus* (Karsch 1879) (Ponce y Vázquez 2007) de la familia Buthidae.

Los ciclos de vida de los escorpiones tienen grandes tiempos generacionales (Polis 1990), aún en especies típicamente colonizadoras como los Buthidae se requiere de más de un año para completar un ciclo (Ponce 2003, Ponce et al. 2006). Su actividad depredadora se ha reconocido como un regulador natural de poblaciones de insectos y otros arácnidos (Polis 1990); sin embargo se desconoce mucho sobre su biología, por lo que es necesario hacer estudios de este tipo para tener elementos objetivos sobre la importancia de este grupo de arácnidos en sus hábitats naturales.

Durante una visita de colecta general en julio de 2006 se notó: (a) alta densidad de madrigueras de *H. gertschi* en la zona y (b) la captura de solo tres estadios aparentemente separados por dos mudas uno del otro sugiriendo una fenología sincronizada para esta especie; motivo por el cual surgió el interés por estudiar el comportamiento de esta especie, iniciando con trabajos de campo en los primeros meses de 2008 para establecer el área de estudio, hacer los primeros monitoreos y determinar el seguimiento durante un ciclo anual a partir del mes de agosto de ese año. La localidad en la cual se realiza este trabajo se caracteriza por una vegetación de bosque tropical seco (Rzedowski 1978), en la que *H. gertschi* comparte este hábitat con tres especies de escorpiones; *Centruroides limpidus* Karsch, *Vaejovis variegatus* Pocock 1898 and *Vaejovis atenango* Francke y González-Santillán 2007.

Los estudios para la determinación de los estadios necesarios para alcanzar la edad adulta se basan en el factor de crecimiento, usando como referencia el factor de Dyar (1890 en Francke y Sissom 1984), el cual es una progresión geométrica ( $\sqrt[3]{2}=1.26$ ) entre una muda y otra que puede aplicarse a diversas estructuras, principalmente la longitud del cefalotórax. En alacranes hay tres métodos para determinar el número de estadios necesarios para llegar a la madurez: (a) el método indirecto mediante el cual se establecen clases de tamaño en las muestras disponibles las cuales se equiparan a los estadios; (b) el método directo que requiere de la cría de los especímenes en laboratorio hasta que alcancen la madurez y (c) el método mixto propuesto por Francke (1976) y que consiste en usar los valores obtenidos de una historia de vida parcial y extrapolar mediante el factor de crecimiento el resto de los estadios, método usado ya en otros trabajos (Ponce y Mora 2002, Ponce 2003).



## Materiales y Métodos

### Localización del Área

El estudio fue desarrollado, en una zona que se conoce como “Cerro La Coronilla” y se ubica a 3.4 km al noroeste de Ahuehuepan, municipio de Tepecoacuilco de Trujano, en el estado de Guerrero, México; geográficamente ubicada en latitud  $18^{\circ}00' 57''$  N y longitud  $99^{\circ} 31' 32''$  O (Figura 1) a una altitud de 857 msnm. Se caracteriza por tener clima cálido subhúmedo AWo (W) (i) g (García 1981), con una vegetación de bosque tropical caducifolio (Rzedowski 1978). La localidad se seleccionó en referencia a la región de Mezcala, en donde se tienen registros previos de poblaciones de *Hadrurus gertschi* (Beutelspacher 2000; Fet et al. 2000).

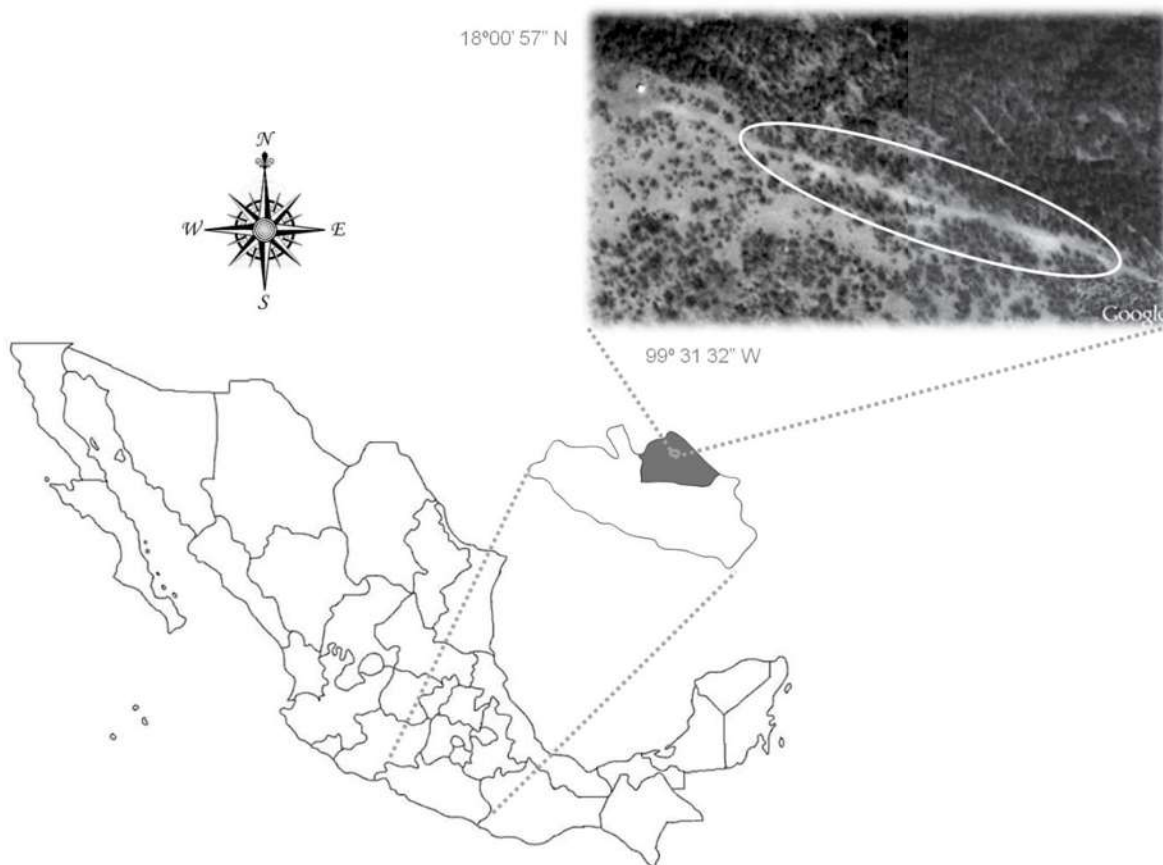


Figura 1. Ubicación del área de estudio, “Cerro La Coronilla”, Ahuehuepan, Municipio de Tepecoacuilco de Trujano, Estado de Guerrero, México

## Trabajo de Campo

Se establecieron 5 cuadrantes, de 400 m<sup>2</sup> cada uno, para estimar la densidad poblacional de *Hadrurus gertschi*. Los cuadrantes fueron ubicados en diferentes áreas de la zona de estudio, representando la variación ambiental detectada, principalmente las diferencias de exposición (laderas norte, sur, este y oeste; y cuadrante plano). La distancia entre los cuadrantes más distantes era de aproximadamente 1 km. Los cuadrantes se delimitaron con cuerda y cada esquina se marcó con una etiqueta pintada de color fluorescente (Figura 2a).

Todas las etiquetas se fijaron por el centro con un clavo y una rondana. Dentro de cada cuadrante se registró el número total de madrigueras de *H. gertschi* que este contenía; para ello se utilizaron otras etiquetas, las cuales tenían el número y orientación del cuadrante así como el número de madriguera correspondiente. Las etiquetas se ubicaron a 10 cm al sur de la entrada de la madriguera, independientemente de la orientación del cuadrante (Figura 2b). En la primera fecha de muestreo, se elaboraron cinco mapas de distribución de madrigueras con evidencia de actividad y sin actividad o al menos, sin evidencia de ello. Todas las madrigueras fueron etiquetadas para llevar un registro individual del comportamiento en un mapa de coordenadas XY (Figura 3). Los muestreos se realizaron mensualmente durante la luna nueva. Se utilizaron lámparas de luz ultravioleta de aprox. 300 nm de longitud de onda para la detección de los alacranes (Sissom et al. 1990). En cada muestreo se realizaron dos recorridos en noches consecutivas en todos los cuadrantes para la detección, captura y medición de los individuos.

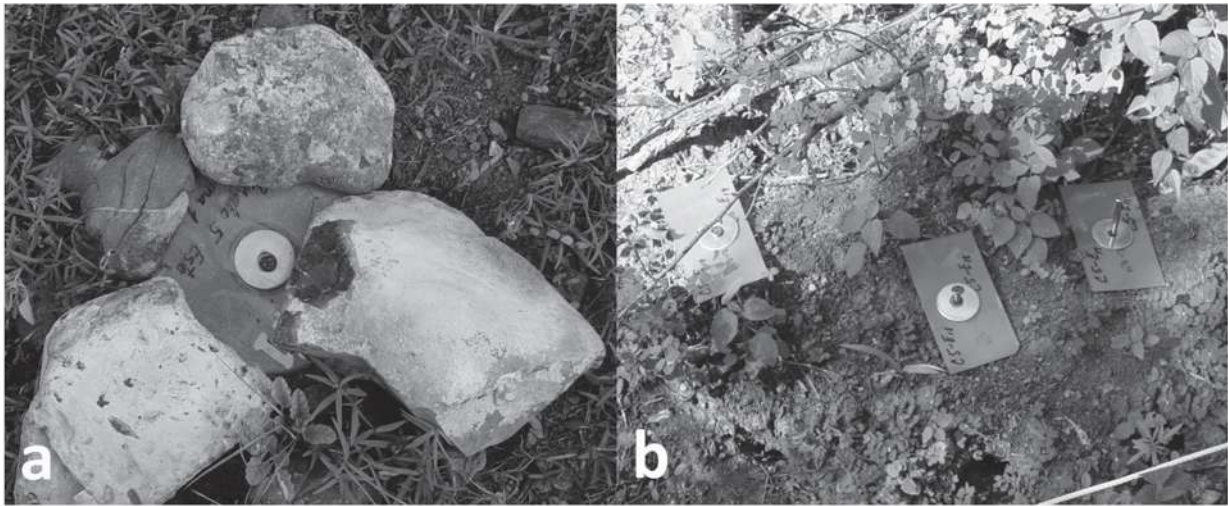


Figura 2. Etiquetas fijadas en campo para la correcta ubicación de madrigueras.

Normalmente los alacranes activos esperan al acecho en la entrada de la madriguera; ante presas o estímulos menores suelen salir algunos centímetros, pero ante estímulos mayores (e. g., un colector) desaparecen al interior rápidamente. La técnica de captura requirió de mucha paciencia, rapidez con el manejo de las pinzas, y en muchas ocasiones usar una ramita para simular las vibraciones de un insecto y estimular al alacrán a que saliera de la madriguera. La información recabada mediante la captura de diversos alacranes durante más de un año fue utilizada para la determinación del ciclo de vida. Cada alacrán capturado fue colocado en una bolsa de plástico Ziploc® y medido inmediatamente. A cada individuo capturado se le tomaron 8 medidas morfométricas: longitud del caparazón cefalotorácico (LCTX); longitud del metasoma (LMT); longitud del segmento caudal V (LSCV); longitud de la vesícula (LVesícula); longitud del fémur del pedipalpo (LFÉMUR); longitud de la patela del pedipalpo (LPATELA) y longitud de la quela del pedipalpo (LQUELA). Después de tomar las medidas del animal, este fue regresado a su madriguera para observaciones posteriores y registro de sus cambios morfométricos. Todas las mediciones de campo fueron tomadas con un Vernier con 0.1 mm de precisión.

El sexo de los adultos fue determinado tomando como referencia el desarrollo de los peines (Figura 4).

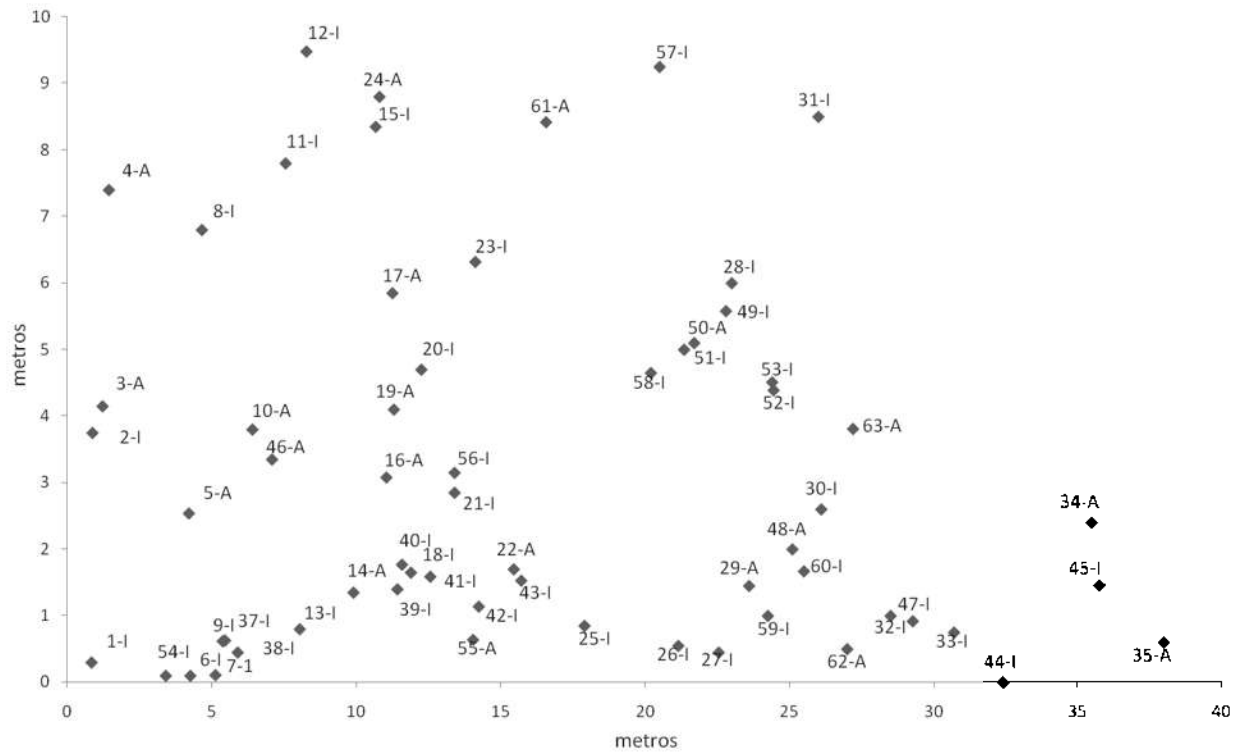


Figura 3. Mapa de registro de madrigueras por exposición (cuadrante). Las letras indican la actividad registrada, (A= Activo, I= Inactivo).

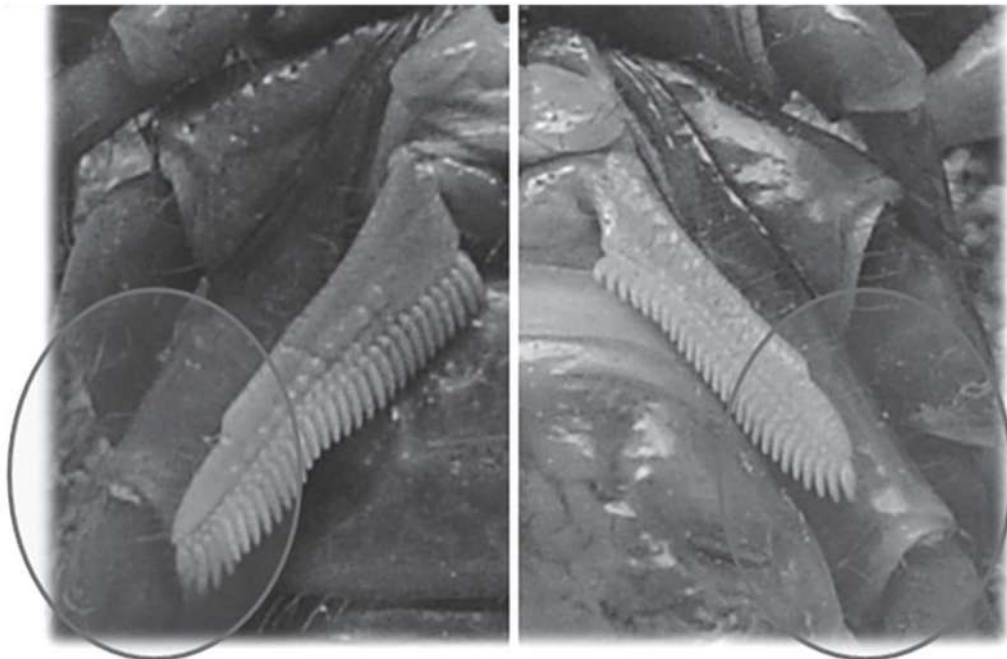


Figura 4. Desarrollo de los peines en *Hadrurus gertschi*; en los machos (izquierda) los peines son más largos, sobrepasando la articulación coxa-trocánter; los dientes son más grandes y más numerosos ( $\approx 29$ ). En la hembra (derecha), los peines son más cortos, alcanzando la articulación coxa-trocánter y tienen menos dientes ( $\approx 25$ ).

Para establecer el patrón de actividad se trabajó durante el día. Cada cuadrante fue revisado, buscando las etiquetas y madrigueras que en él se encontraban. Las madrigueras fueron registradas como “inactivas” cuando no se observó evidencia o rastro de la entrada; cuando la entrada estaba bloqueada o la madriguera se encontró habitada por arañas u hormigas (Figura 5a); mientras que se registraron como “activas” las madrigueras que mostraban la entrada limpia, con un “túmulo” bien construido y con evidencia de actividad reciente, lo cual fue corroborado en el muestreo nocturno, ya que coincidían las etiquetas “activas” con madrigueras en las que se observó alacrán al acecho (Figura 5b).



Figura 5. Madriguera de *Hadrurus gertschi*, a) entrada de la madriguera tapada (“inactiva”); b) madriguera con túmulo bien definido (“activa”).

## Análisis de datos.

Para la determinación de los estadios necesarios para alcanzar la edad adulta en principio se determinó un factor de crecimiento, mediante el método mixto (Francke 1976) y que consiste en utilizar los valores obtenidos a partir de un ciclo de vida parcial y extrapolar el factor de crecimiento para el resto de los estadios, con la diferencia de que en este estudio se incorpora el seguimiento de los ejemplares en campo.

El primer paso fue comparar la longitud del caparazón cefalotorácico entre hembras y machos adultos, asignando en principio este estadio a los ejemplares de mayor tamaño (14 hembras y 7 machos). Para corroborar la validez de esta asignación se realizaron excavaciones de madrigueras de ejemplares hembras a las que se les asignó el estadio de adulto y en cuatro de ellas se encontraron crías, lo cual corrobora

la asignación. En el caso de los machos los tres ejemplares que se observaron en cortejo, fueron medidos y comparados con los datos de los ejemplares de mayor tamaño que se capturaron, siendo estadísticamente coincidentes ( $p>0.05$ ).

Después, con una prueba no paramétrica de concordancia (Ji-cuadrada) se probó la posible diferencia entre los valores de longitud del caparazón cefalotorácico de machos y hembras encontrando que no hubo diferencia estadística significativa ( $p>0.05$ ) y así usar estos valores en la asignación de edades a los otros ejemplares medidos en campo, independientemente del sexo.

Se aplicaron 5 valores distintos de probable factor de crecimiento, iniciando con el valor de Dyar (1.26) y como valor superior 1.30, considerando la variación observada en otros alacranes (Sissom 1980; Ponce 2003; Ponce y Díaz-Mora 2002). Se determinó utilizar la medida de longitud del caparazón cefalotorácico porque es la estructura que menor error de medición presentó ( $EE=0.02$ ) con respecto a otras estructuras que pudieran ser igualmente confiables como el Segmento Caudal V (SCV) ( $EE=0.03$ ).

Se inició con la muestra del estadio más pequeño disponible en campo (estadio II,  $n=30$ ) y a partir de allí, se hicieron las estimaciones para los estadios superiores.

Los valores promedio y los rangos obtenidos, se usaron para asignar edades a los animales que fueron medidos en campo y se probó el ajuste no paramétrico (Ji-cuadrada) de las estimaciones con cada factor probado. También se usó una prueba paramétrica de ajuste de medias con la distribución Z. Posteriormente cada asignación se sometió a un análisis de clasificación multivariada con el método del Análisis Discriminante Canónico (Figura 6). Se calculó el crecimiento esperado para otras seis estructuras medidas en cada ejemplar utilizando el factor con el cual se tuvo el mejor ajuste y se obtuvieron los valores promedio y rango para cada estructura (Tabla II) y con esto definir si hay un crecimiento proporcional al caparazón cefalotorácico o existe cierto grado de alometría.

De los datos de campo se separaron los ejemplares que fueron registrados en más de una fecha de captura y que representaron un cambio de estadio (n=24) para calcular el factor de crecimiento individual, se agruparon por “muda” y se compararon con los factores de crecimiento obtenidos mediante la asignación usando el mejor factor estimado. De esta manera se obtuvo información de mudas entre la mayoría de los estadios, excepto del I al II porque no se capturaron alacranes del estadio I. Para reconstruir el ciclo de vida se usaron también datos provenientes de capturas realizadas en 2006 y principios de 2008.

Para el análisis de la fenología se utilizaron ejemplares capturados y medidos entre agosto de 2008 y julio de 2009. Los datos fueron ordenados por edad y en el caso de los adultos y el estadio VI, también por sexo. La proporción sexual y la actividad se registraron como frecuencias y se calculó la proporción de madrigueras activas por cuadrante y por mes para analizar posibles diferencias mediante una prueba no paramétrica para muestras múltiples de Kruskal-Wallis.

## Resultados

### Factor de Crecimiento

El factor de crecimiento determinado para esta especie, por ser el que presentó mejor ajuste a los datos observado en campo, fue de 1.27 para la longitud del caparazón cefalotorácico, muy cercano al factor de Dyar (1.26).

De acuerdo con esta información se asignaron las edades a todos los alacranes medidos en campo (n=249), usando los promedios y rangos esperados para los diferentes estadios hasta alcanzar el tamaño de los adultos, encontrando que para ello se requieren de 6 mudas y 7 estadios (Tabla I).

Tabla I. Longitud del caparazón cefalotorácico (mm) de cada estadio. Factor de crecimiento de 1.27 (n=249).

Estadio	Mínimo	Promedio	Máximo
*II	3.80	4.13	4.50
III	4.83	5.25	5.72
IV	6.13	6.66	7.26
V	7.78	8.46	9.22
VI	9.89	10.74	11.71
Adulto	12.55	13.64	14.87

\* Los valores del estadio II son los observados (n=30); los demás son estimaciones.

El método discriminante permitió evaluar la asignación de edades no sólo con la predicción de la longitud del caparazón cefalotorácico, sino con las otras 7 medidas tomadas a los ejemplares, lo que supondría, en caso de que las asignaciones fueran equivocadas, un margen de error mayor que al utilizar sólo una variable morfométrica. Nuestros resultados con base en los 249 ejemplares capturados y medidos fueron muy congruentes con la asignación inicial al obtener menos del 1% de “malas clasificaciones” (0.803) (Figura 5).



Con la asignación de edades a los 249 ejemplares capturados en el año, se procedió a calcular el factor de crecimiento de las otras estructuras medidas excluyendo el aguijón, debido a que por su forma y el que en ocasiones estaba roto, las mediciones tuvieron una variación mucho mayor que las otras estructuras. En el caso del caparazón cefalotorácico el factor promedio usando las asignaciones de los ejemplares de campo fue 1.27, mientras que en las otras estructuras varió de 1.24 a 1.30, con los valores más pequeños para las tres estructuras medidas en los pedipalpos, lo que sugiere un posible crecimiento alométrico para estas partes del animal (Tabla II).

De la muestra de ejemplares registrados en más de una fecha de captura se tuvieron 24 datos de animales capturados con los cuales se obtuvo que la longitud del caparazón cefalotorácico se ajustó en promedio a un factor de crecimiento de 1.26, igual que el segmento caudal V y la vesícula (se probó estadísticamente el valor promedio con una prueba de Z), aunque esta última también se ajustó a una media de 1.27. El resto de las estructuras arrojaron valores promedio estadísticamente distintos al factor de Dyar (Tabla III).

El factor de crecimiento calculado con estos ejemplares para la longitud del cefalotórax varió entre 1.22 a 1.26 dependiendo de la edad. Considerando todas las edades observadas, el factor de crecimiento corresponde a una población cuya media de factor de crecimiento es de 1.26 con una desviación estándar de 0.04; misma situación para el Segmento Caudal V; aunque este tuvo mayor variación (SD= 0.08). Las estructuras del pedipalpo mostraron mediciones promedio menores, variando de 1.22 a 1.25, medias que de acuerdo con la prueba paramétrica de Z corresponden a poblaciones con medias de 1.22 para la quela, 1.23 para la patela y 1.26 para el fémur (Tabla III).

## **Fenología**

De acuerdo con la asignación de edades a los ejemplares de campo, el estadio más pequeño (II) se registró en los meses de mayo, junio y principios de julio habitado en pequeñas madrigueras distribuidas alrededor de una madriguera de hembra adulta.

A las madrigueras se les midió la anchura máxima de la entrada (Figura 7) obteniendo (1.93 cm,  $\pm 0.23$ ) para el estadio II (n=8) y 4.5 cm, ( $\pm 0.87$ ) en las madrigueras de las madres (n=3).

El resto de los estadios tiene un comportamiento peculiar, ya que están presentes tres a cuatro edades de manera simultánea, pero no todos en la misma fecha de colecta, lo que indica que hay cierta sincronización en las épocas de apareamiento, nacimiento y muda (Tabla IV, Figura 8).

Tabla II. Factores de crecimiento obtenidos a partir de la asignación de estadios con un factor de crecimiento de 1.27 para el cefalotórax (n=249). (Se usaron valores promedio).

ESTADIO	LCTX	LCOLA	LSCV	LVESICULA	LFEMUR	LPATELA	LQUELA	FACTOR CALCULADO
Estadio II - III	1.34	1.42	1.38	1.54	1.26	1.24	1.29	<b>1.35</b>
Estadio III - IV	1.29	1.28	1.24	1.24	1.31	1.31	1.25	1.28
Estadio IV - V	1.23	1.29	1.20	1.24	1.15	1.18	1.19	1.21
Estadio V - VI	1.28	1.30	1.33	1.39	1.27	1.25	1.36	1.31
Estadio VI - Adulto	1.20	1.26	1.25	1.22	1.19	1.20	1.12	<b>1.21</b>
FACTOR CALCULADO	1.27	1.31	1.28	1.33	1.24	1.23	1.24	1.27

Tabla III. Factores de crecimiento calculados para las estructuras medidas en la muestra de capturas de estadios sucesivos (Promedio± SD; n=24)

ESTADIO	LCTX	LCOLA	LSCV	LVESICULA	LFEMUR	LPATELA	LQUELA
II a III	1.26 *	1.36*	1.35*	1.40*	1.35*	1.31*	1.23*
III a IV	1.22 *	1.27*	1.26*	1.29*	1.23*	1.19*	1.18*
IV a V	1.26 (±0.02)	1.35 (±0.06)	1.24 (±0.10)	1.26 (±0.13)	1.25 (±0.06)	1.23 (±0.06)	1.21 (±0.07)
V a VI	1.24 (±0.01)	1.34 (±0.16)	1.20 (±0.07)	1.23 (±0.06)	1.25 (±0.15)	1.23 (±0.07)	1.22 (±0.05)
VI a Ad	1.25 (±0.03)	1.29 (±0.04)	1.25 (±0.03)	1.14 (±0.16)	1.24 (±0.05)	1.25 (±0.04)	1.23 (±0.06)
PROMEDIO	1.24	1.32	1.26	1.26	1.26	1.24	1.21

\* Valores obtenidos de una observación

LCTX= longitud del caparazón cefalotorácico; LMT=longitud del metasoma; LSCV= longitud del segmento caudal V; LVesícula= longitud de la vesícula; LFEMUR= longitud del fémur del pedipalpo; LPATELA= longitud de la patela del pedipalpo; LQUELA= longitud de la quela del pedipalpo.

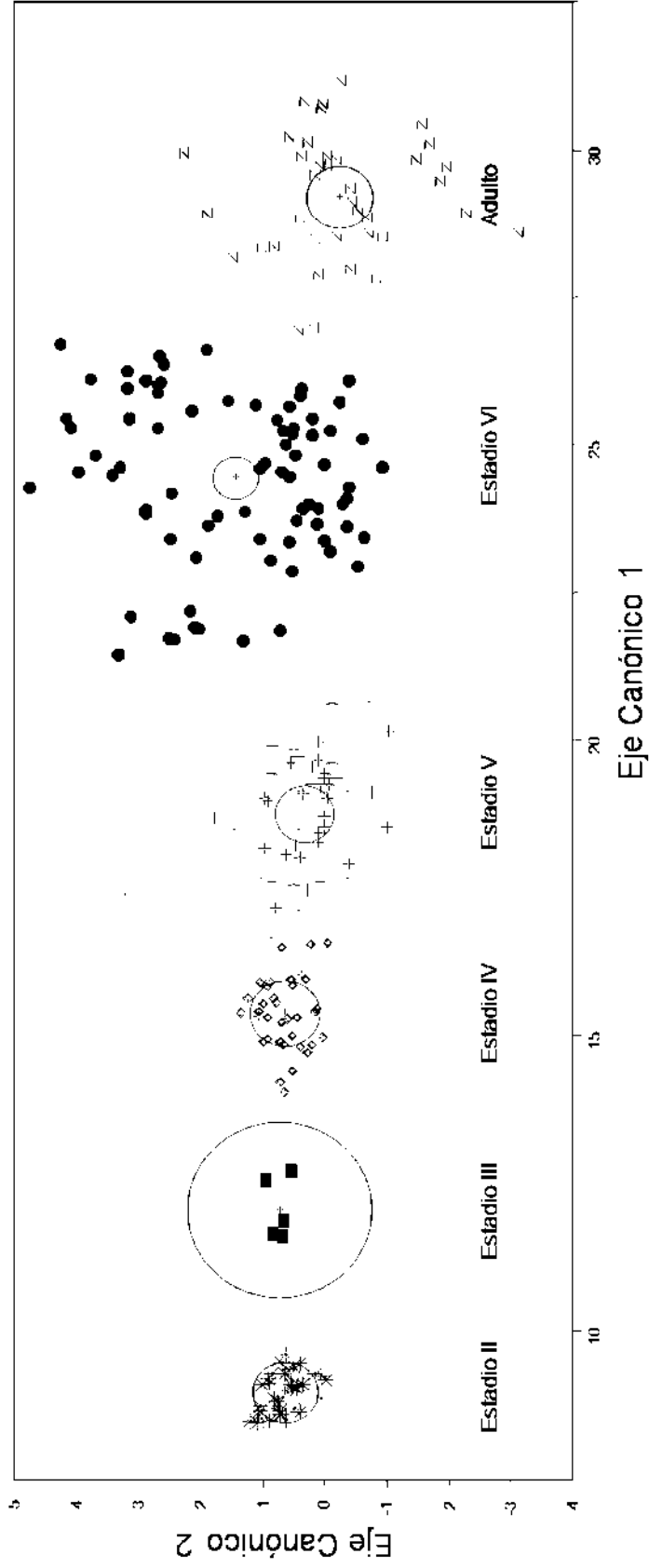


Figura 6. Análisis Discriminante Canónico realizado con las asignaciones de todas las estructuras consideradas para *Hadrurus gertschi*. (Porcentaje de malas clasificaciones=0.803; n=249)



Figura 7. Anchura máxima de la entrada de las madrigueras.

El estadio más pequeño recolectado (II) se caracteriza por la longitud promedio del caparazón cefalotorácico de 4.1 mm ( $\pm 0.02$ ) y se encontró en los meses de mayo y junio, con mayor abundancia en el mes de mayo (88.46%). El estadio III se recolectó pocas veces, registrándose un solo ejemplar para los meses de julio y noviembre, se caracteriza por una longitud promedio del carapacho de 5.6 mm ( $\pm 0.03$ ); mientras que el estadio IV estuvo presente la mayor parte del año (7 meses), siendo abril el mes con mayor abundancia (34.62%) con una longitud promedio de 7.2 mm ( $\pm 0.03$ ) en el carapacho.

Tabla IV. Frecuencia de captura de los diferentes estadios de *H. gertschi* durante un ciclo anual.

Mes	Estadio II	Estadio III	Estadio IV	Estadio V	Estadio VI	Adulto
ENERO	--	--	4	4	2	1
FEBRERO	--	--	11	5	2	1
MARZO	--	--	8	7	2	1
ABRIL	--	--	12	12	7	3
MAYO	18	--	3	13	9	8
JUNIO	2	--	--	1	1	4
JULIO	13	3	--	27	14	17
AGOSTO	--	--	--	1	3	5
SEPTIEMBRE	--	--	--	--	5	4
OCTUBRE	--	--	--	--	5	4
NOVIEMBRE	--	2	8	2	8	4
DICIEMBRE	--	--	5	1	4	--

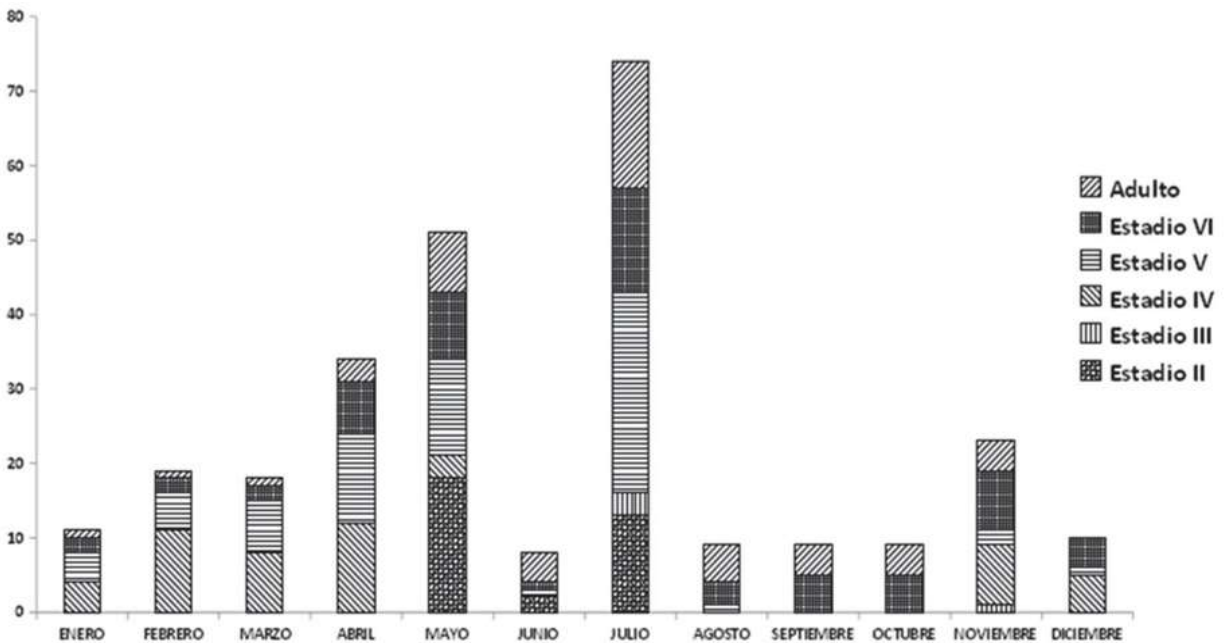


Figura 8. Frecuencia de captura de los diferentes estadios de *H. gertschi* durante un ciclo anual (Agosto 2008-julio 2009).

El estadio V se registró durante 9 meses (noviembre-agosto), con mayor frecuencia en los meses de julio y abril (23.21% y 30.36% respectivamente); se caracteriza por una longitud promedio del caparazón cefalotorácico de 8.8 mm ( $\pm 0.05$ ). El estadio VI con 11.3 mm ( $\pm 0.07$ ) de longitud promedio del carapacho, se recolectó los 12 meses del muestreo con las abundancias más altas en los meses de julio (14.29%) y mayo (17.46%). Los adultos maduros se caracterizaron por tener una longitud promedio del caparazón cefalotorácico de 13.6 mm ( $\pm 0.05$ ). El número de dientes pectinales es de 29–35 para machos y de 25–29 para las hembras. Se registraron durante casi todo el año (excepto diciembre) con mayor abundancia durante los meses de mayo y julio (Otras mediciones para cada estadio se muestran en la tabla V).

En la muestra proveniente de campo se registraron 8 machos y 34 hembras en estado adulto, con una mayor proporción de hembras en los meses de mayo (17.65%) y julio (32.35%) y en el caso de los machos el mes de julio (62.5%) fue el de mayor abundancia. Se encontraron machos adultos vagabundos (presumiblemente en búsqueda de hembras para aparearse) en los meses de agosto y septiembre y se

observó un cortejo en el mes de julio y dos en octubre, lo que sugiere que la época de apareamiento ocurre durante el periodo de lluvias.

Tabla V. Medidas tomadas a los ejemplares de cada estadio (en mm) para cada una de las estructuras consideradas.

ESTADIO		LCTX	L COLA	L SCV	VESICU LA	L FEMUR	L PATELA	L QUELA
Estadio II	MIN	3.8	10.6	3.0	1.6	2.3	3.0	6.0
	PROMED IO	4.1	12.2	3.6	2.0	3.0	3.7	6.6
	MAX	4.5	13.4	6.3	2.4	3.6	4.3	7.0
	D.S.	0.02	0.07	0.05	0.01	0.03	0.03	0.03
Estadio III	MIN	5.2	16.3	5.0	2.8	3.5	4.0	7.9
	PROMED IO	5.6	17.2	5.0	3.1	3.8	4.6	8.5
	MAX	5.9	18.4	5.0	3.3	4.0	5.0	9.0
	D.S.	0.03	0.09	0.00	0.02	0.03	0.05	0.05
Estadio IV	MIN	6.6	20.5	5.7	3.5	4.5	5.4	10.0
	PROMED IO	7.2	22.1	6.2	3.8	5.0	6.1	10.7
	MAX	7.7	27.0	7.0	4.2	5.4	6.5	11.7
	D.S.	0.03	0.14	0.04	0.02	0.02	0.02	0.05
Estadios V	MIN	8.0	21.5	4.5	3.9	4.7	6.0	11.2
	PROMED IO	8.8	28.5	7.4	4.7	5.7	7.1	12.7
	MAX	9.9	33.0	9.7	6.9	6.9	9.0	13.7
	D.S.	0.05	0.24	0.07	0.05	0.05	0.05	0.06
Estadio VI	MIN	10.0	31.2	8.2	5.4	6.0	7.6	14.8
	PROMED IO	11.3	36.9	9.9	6.6	7.3	8.9	17.2
	MAX	12.3	42.9	11.8	8.0	8.8	9.8	21.2
	D.S.	0.07	0.29	0.07	0.06	0.06	0.05	0.16
ADULTO	MIN	12.5	36.0	11.1	6.4	7.2	9.4	17.6
	PROMED IO	13.6	46.7	12.4	8.1	8.7	10.7	19.3
	MAX	14.6	55.0	13.6	9.6	9.1	11.7	21.2
	D.S.	0.05	0.37	0.06	0.07	0.05	0.05	0.08

### Patrón de actividad

Comparando los cuadrantes en cuanto a la actividad registrada durante el presente estudio, se obtuvo que para la ladera con exposición Sur los meses con mayor

proporción de madrigueras activas fueron septiembre y octubre, encontrándose presentes los estadios VI y adulto. Para el cuadrante plano (sin pendiente) fueron diciembre y enero, meses en los que se encuentran los estadios IV, V y VI y en enero también el adulto; diciembre fue el único mes del año en el cual no se registraron adultos. Para el cuadrante con pendiente al Norte en septiembre y octubre se registró la mayor actividad y los estadios VI y adulto. En el cuadrante Oeste los meses de diciembre (estadios IV, V y VI) y agosto (estadios V, VI y adulto) presentaron mayor actividad. Para el cuadrante con pendiente al Este los meses con mayor número de madrigueras activas fueron noviembre y mayo, encontrando en noviembre 5 de los 6 estadios registrados en todo el año, el único estadio que no se registró en este mes fue el estadio II (Tabla VI, Figura 9).

El ANOVA para comparar la actividad anual por cuadrante y por mes, no mostró diferencia estadística significativa entre cuadrantes ( $p > 0.05$ ) pero sí entre meses, con los meses de marzo, abril, junio y julio como los de menor actividad promedio y los meses de octubre a enero con los valores más altos (Figura 10).

Tabla VI. Proporción de madrigueras activas-inactivas (pendiente) y por mes durante un ciclo anual (los meses con mayor actividad se resaltan en negritas subrayadas, y los meses con mayor inactividad solamente en negritas).

MES	SUR		PLANO		NORTE		OESTE		ESTE	
	Activos	Inactivos	Activos	Inactivos	Activos	Inactivos	Activos	Inactivos	Activos	Inactivos
Enero	57.8	42.1	<b><u>45.0</u></b>	55.0	36.3	63.6	56.5	43.4	40.9	59.0
Febrero	36.8	63.1	18.7	<b>81.2</b>	24.2	75.7	47.8	52.1	24.5	75.4
Marzo	33.9	66.1	20.9	79.0	24.2	75.7	34.7	65.2	22.9	<b>77.0</b>
Abril	35.5	64.4	35.2	64.7	29.4	70.5	42.3	57.6	22.9	<b>77.0</b>
Mayo	53.8	46.1	43.5	56.4	33.3	66.6	43.3	56.6	45.7	54.2
Junio	6.5	<b>93.4</b>	28.2	<b>71.7</b>	33.9	66.0	13.3	<b>86.6</b>	8.4	<b>91.5</b>
Julio	14.1	<b>85.8</b>	19.5	<b>80.4</b>	16.9	<b>83.0</b>	36.3	63.6	22.0	<b>77.9</b>
Agosto	55.0	45.0	35.4	64.5	32.1	67.8	<b>58.8</b>	41.1	38.4	61.5
Septiembre	<b><u>75.0</u></b>	25.0	32.2	67.7	<b><u>45.1</u></b>	54.8	29.4	<b>70.5</b>	35.4	64.5
Octubre	<b><u>78.7</u></b>	21.2	40.0	60.0	<b><u>46.8</u></b>	53.1	36.8	63.1	42.3	57.6
Noviembre	59.5	40.4	42.8	57.1	40.6	59.3	50.0	50.0	<b><u>50.8</u></b>	49.1
Diciembre	54.5	45.4	<b><u>44.3</u></b>	55.7	31.2	<b>68.7</b>	<b><u>69.5</u></b>	30.4	40.6	59.3



## Ciclo de vida

De acuerdo con los datos de campo, fue posible establecer el tiempo transcurrido para que un animal de una determinada edad se registrara en el estadio siguiente y con esa información, ordenada suponiendo años sucesivos, se pudo establecer que el tiempo necesario para mudar en las etapas primarias del crecimiento es menor que para las últimas fases del ciclo de vida; así por ejemplo, para cambiar de estadio II a estadio III sólo transcurren dos meses mientras que para que ocurra la muda entre estadio IV y V se requiere de aproximadamente un año, tiempo similar al que transcurre para que se presente la ecdisis correspondiente al estadio VI. Este estadio dura también un año y entonces muda al estado de madurez sexual.

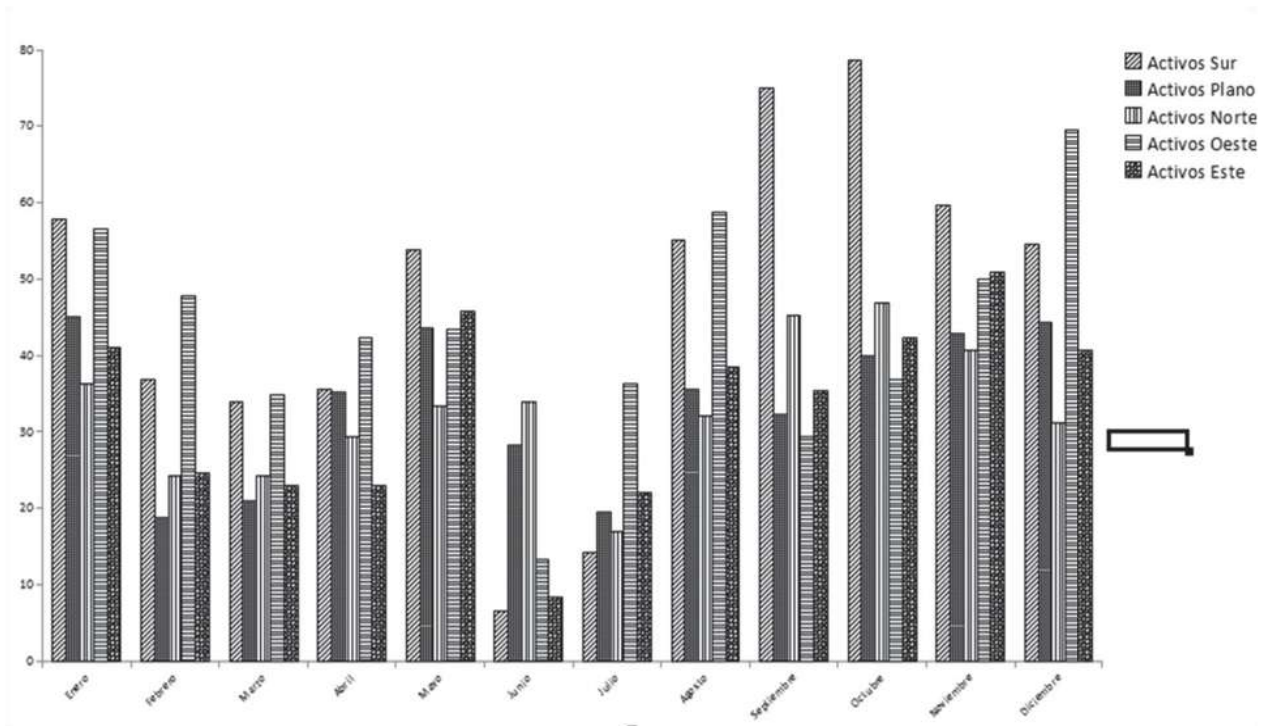


Figura 9. Madrigueras activas por cuadrante y por mes durante un ciclo anual.

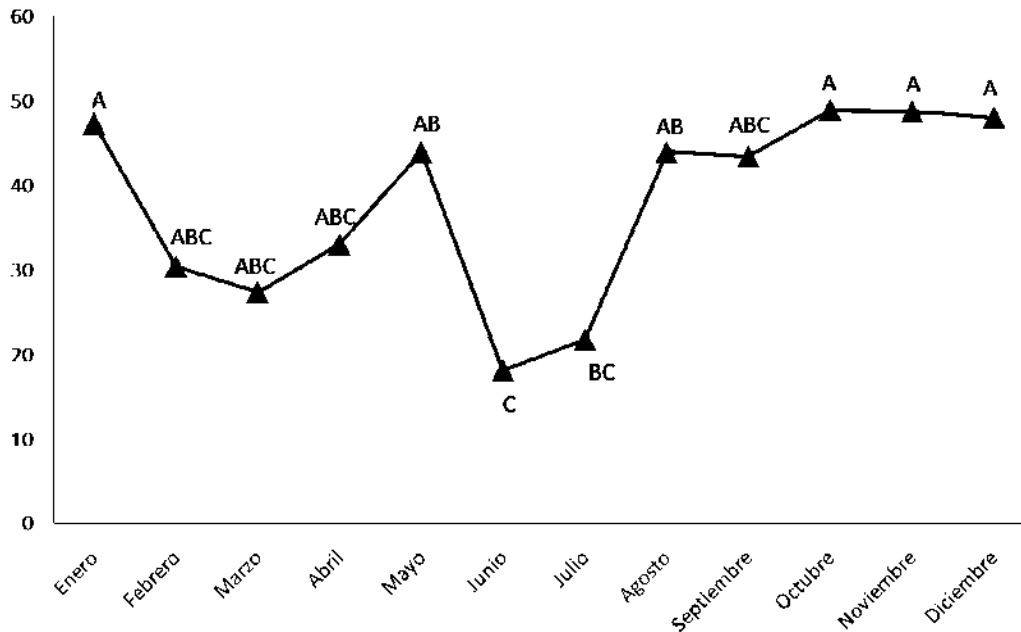


Figura 10. Comportamiento de la actividad de madrigueras por mes de muestreo.

Las épocas de muda varían con la edad ya que para el cambio de instar II a III se registraron datos del mismo ejemplar en estadios sucesivos en los meses de junio y julio a diferencia de los ejemplares de mayor edad cuyos cambios de estadio se registraron entre los meses de noviembre y diciembre (de instar III a IV); enero a mayo para los estadios IV a V; enero a marzo para llegar al instar VI y finalmente de enero a abril se registra la época de muda del estadio VI para llegar al estado adulto (Tabla VII, Figura 11). Los apareamientos observados en campo se ubicaron en los meses de agosto, septiembre y octubre, época en la que también se registraron los machos vagabundos.

Tabla VII. Meses en que se registraron cambios de instar en ejemplares etiquetados.

CAMBIO DE ESTADIO	Meses registrados
II a III	Junio, julio
III a IV	Febrero
IV a V	Febrero, abril, junio, julio, agosto
V a VI	Abril, mayo, agosto
VI a Ad	Febrero, mayo, junio, agosto

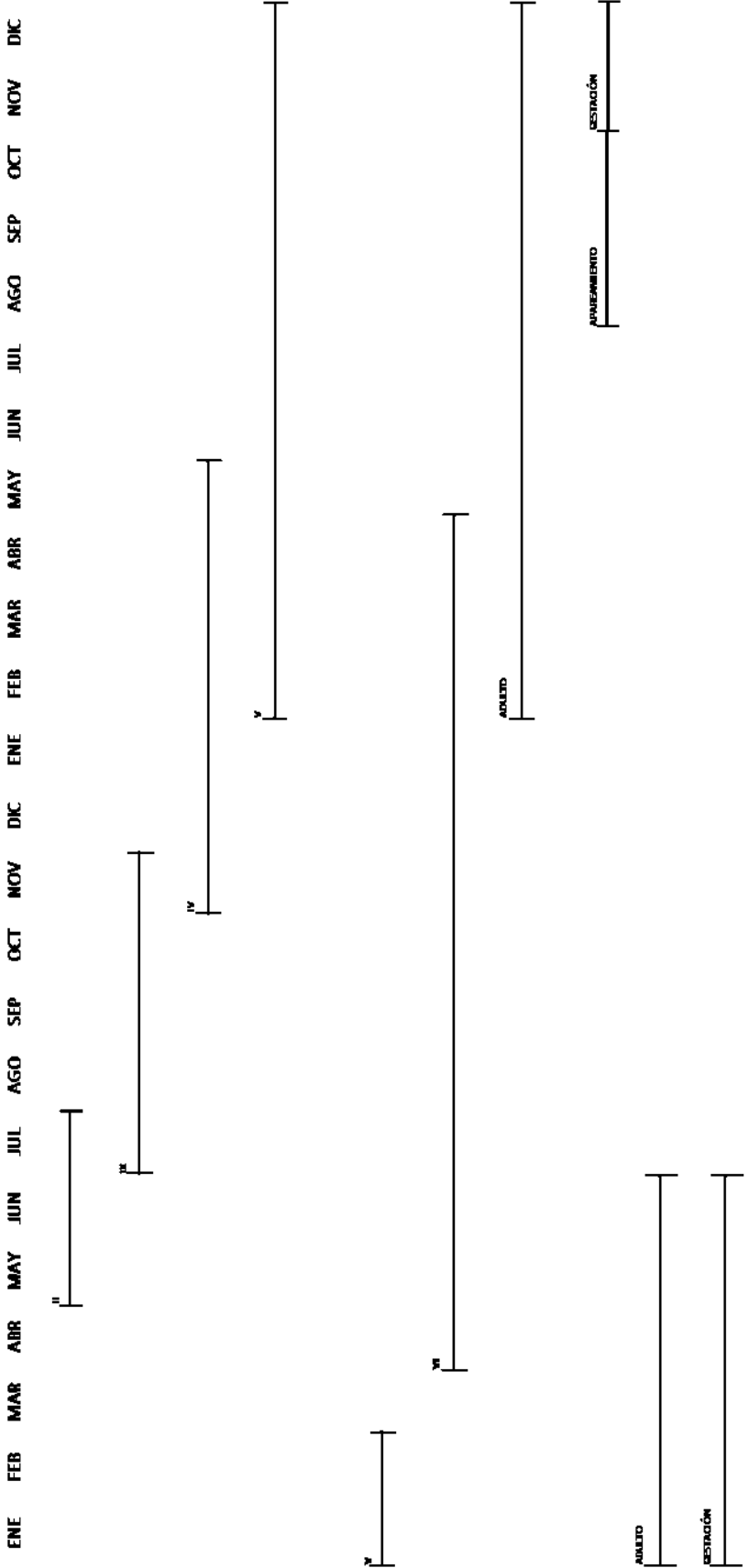


Figura 11. Duración observada en campo para los estadios (números romanos) que conforman el ciclo de vida de *Hadrurus gertschi*.

## Discusión

### Factor de crecimiento

El factor de crecimiento que presentó mejor ajuste para *Hadrurus gertschi* fue 1.27. La variación en el comportamiento del factor de crecimiento en la patela del pedipalpo y la quela, para las que se obtuvo un factor menor (1.24) con respecto al fémur que tuvo un factor promedio de 1.26, sugiere un patrón ligeramente alométrico en el crecimiento de esta especie; situación que ya había sido registrada en otras especies de alacranes como *Uroctonus mordax* Thorell (Francke 1976), *Centruroides vittatus* (Say) y *Vaejovis bilineatus* Pocock (Sissom, 1980; Sissom y Francke, 1983), *Vaejovis coahuilae* Williams (Francke y Sissom 1984), *Pseudouroctonus reddelli* (Gertsch y Soleglad) (Brown 1997) y otras especies de *Centruroides* y *Tityus* (Lourenço 1979, 1988, 1989). En estos trabajos la tasa de crecimiento definida por Dyar no es constante para las diferentes etapas de desarrollo ni para todas las estructuras medidas, aunque en la mayoría se midió el caparazón cefalotorácico y el segmento caudal V, otros también midieron el dedo fijo de la quela del pedipalpo. Los valores observados varían desde 1.22 hasta 1.33 y sólo en algunas estructuras como el dedo fijo en *Centruroides elii* (Armas y Marcano Fondeur 1992) se obtuvo el valor de Dyar (1.26) (Rouaud et al. 2000).

Por lo anterior y con los la información generada en este trabajo, se puede suponer un crecimiento individual alométrico para esta especie, con crecimiento ligeramente menor en las estructuras del pedipalpo con respecto a las medidas somáticas, particularmente el caparazón cefalotorácico y el segmento caudal V, medidas que deberán seguir siendo usadas para establecer el factor de crecimiento ya que son las menos variables y las más confiables, en concordancia con el patrón de crecimiento observado en otras especies de alacranes en las que

se tomó esta estructura como referencia y cuyos valores variaron entre 1.27 y 1.3 (Francke y Sissom 1984; Ponce 2003; Ponce y Díaz-Mora 2002).

En escorpiones en general se registra aumento de 25-35% en las dimensiones entre los estadios consecutivos (Francke 1976), así cada estructura tiene su propia tasa de incremento (factor de crecimiento) y esto puede variar con cada muda (Sissom 1980), como sucedió con la especie en estudio. Para otras especies del género *Hadrurus* no se dispone de información para poder comparar y concluir algo con respecto a si esto ocurre sólo en *H. gertschi* o puede ser un patrón de crecimiento más generalizado.

## **Fenología**

Es interesante notar, que como en julio del 2006, en julio del 2008 estuvieron presentes los estadio III, V y VI más el adulto; los tres tamaños encontrados en el muestreo inicial (2006), y que generó el interés en estudiar esta población de *H. gertschi*. Este comportamiento es peculiar, indicando la sincronización de las épocas de reproducción, nacimiento y muda, lo cual genera el traslape de generaciones.

La presencia del estadio II en pequeñas madrigueras se observó en los meses de mayo, junio y julio, por lo que es de suponerse que en los meses de marzo y abril es cuando ocurren los nacimientos y el transcurso del primer estadio dentro de la madriguera materna, por lo que es hasta la edad II en que los animalitos se dispersan e inician su propia madriguera, cuando se les puede capturar. La ecdisis ocurre dentro de las madrigueras, cuando estas se encuentran “inactivas” y su entrada se encuentra bloqueada por tierra. Al activarse nuevamente, las madrigueras presentan un “túmulo” formado en gran parte por material excavado para agrandar la madriguera (Quijano et al. enviado), y que contiene restos de presas consumidas así como partes de la exuvia correspondiente a la edad anterior del animal que allí habita.



## Patrón de actividad

El presente trabajo es el segundo que se hace para establecer aspectos fenológicos de poblaciones del género *Hadrurus* y el primero con *H. gertschi*; por lo que la comparación se hace con lo obtenido para *H. arizonensis* (Williams 1968; 1969) cerca de Phoenix, Arizona.

Los animales más pequeños (estadios II) se registraron en los meses de mayo y junio, por lo que se infiere que los nacimientos y el primer estadio ocurren en los meses de marzo y abril. Williams (1968) registra que para *H. arizonensis* la mayor actividad de jóvenes del estadio II es en julio, lo cual sugiere que para *H. arizonensis* los nacimientos ocurren aparentemente en mayo-junio. *H. arizonensis* mostró periodicidad estacional definida, siendo mayor la actividad en los meses cálidos y en su totalidad o prácticamente ausente durante los meses de invierno a diferencia de lo que se registra en este trabajo en que los meses de invierno mostraron actividad importante de la población de alacranes, probablemente por efecto del clima tropical de la localidad trabajada que es mucho menos estacional que el desierto de Arizona.

Los machos adultos fueron más activos que las hembras en la superficie tanto para *H. arizonensis* (Williams, 1969) como para *H. gertschi*, de quien se hallaron machos adultos vagando en los meses de agosto y septiembre, al parecer porque es en esta época en que hacen la búsqueda de las hembras sexualmente receptivas, como lo confirman los comportamientos de cortejo observados en los meses de julio y octubre, meses en los que se ha registrado actividad de apareamiento para especies de al menos cuatro familias (Tabla VIII).

Tabla VIII. Especies para las que se tiene registro de apareamiento en los meses de julio y octubre (Datos tomados de Polis y Sissom 1990).

Familia	Julio	Octubre
BOTHRIURIDAE	<i>Urophonius brachycentrus</i> (Thorell)	
BUTHIDAE		<i>Centruroides insulanus</i> (Thorell) <i>C. vittatus</i> (Say) <i>Isometrus maculatus</i> (DeGeer) <i>Rhopalurus garridoi</i> (Armas)
SCORPIONIDAE	<i>Heterometrus longimanus</i> (Herbst)	<i>Urodacus manicatus</i> (Thorell)
VAEJOVIDAE	<i>Paruroctonus utahensis</i> (Williams)	<i>Paruroctonus mesaensis</i> (Stahnke)

Los meses con mayor proporción de madrigueras activas fueron septiembre, octubre y diciembre, lo cual sugiere que el aumento en el patrón de actividad se debe a la disponibilidad de alimento, ya que la mayor actividad se presenta durante y después de la época de lluvias, disminuyendo sensiblemente durante el estiaje. No todos los estadios son igualmente activos, mostrando que hay una relación entre el tamaño y la actividad estacional y los adultos son claramente más activos que los jóvenes. El comportamiento de actividad por sexo con los datos de ejemplares capturados, muestra que las hembras fueron más “activas” (73%) que los machos (27%) y el número de machos se incrementó en agosto y septiembre (con algunos vagabundos), julio y octubre, pero su abundancia no fue mayor que la de las hembras, a diferencia de lo registrado por Williams (1968), quien encontró una diferencia sutil en la actividad superficial entre sexos, siendo las hembras ligeramente más activas que los machos durante abril, mayo y junio, mientras que los machos fueron un poco más activos a mediados de agosto, septiembre y principios de octubre.



## Ciclo de vida

Con base en los datos del estadio II (n=30) y aplicando el factor de crecimiento 1.27 se calcularon las medidas promedio para los estadios superiores y se hizo la asignación a los alacranes capturados en el campo y una vez probada estadísticamente la concordancia con los datos de campo, se sugiere que para esta especie se requieren de 7 estadios y 6 mudas para llegar a la edad adulta, lo que cae en el rango de los registros de número de mudas que se tienen para otras familias como Buthidae (4-7), Chactidae (5-9), Ischnuridae (5-6), Scorpionidae (5-7) y Vaejovidae (5-7) (Polis y Sissom 1990). También se determinó que no existe diferencia significativa de tamaño corporal y longitud del caparazón cefalotorácico dependiente del sexo del alacrán, a diferencia de lo que ocurre con algunas especies de la familia Buthidae (*Centruroides balsasensis*, *Centruroides limpidus*, *C. infamatus* Koch y *C. ornatus* Pocock) en las que el tamaño total de los animales es estadísticamente igual en hembras y machos pero no así en su caparazón cefalotorácico (J. Ponce S. Datos no publicados).

Con la información anterior y alineando las épocas de muda y duración de los diferentes estadios registrados en el campo, se reconstruye el ciclo de vida de *Hadrurus gertschi* y se concluye que se requieren al menos cuatro años para que un animal alcance la madurez sexual y tenga su primer apareamiento, un tiempo de gestación de aproximadamente 8 meses y los nacimientos en los meses de abril y mayo (Figura 10). La duración de 4 años para completar el ciclo en *H. gertschi* es el primer dato para esta especie y para la familia Luridae, ya que el único estudio que existe al respecto (Williams 1969), no menciona la probable duración del ciclo, concentrándose en la descripción de los patrones de actividad superficial. La variación de la información que al respecto existe es muy amplia e incluye datos de escasos 6 meses para completar un ciclo de vida en algunas especies de la familia Buthidae, hasta especies a las que se les reportan 4.5 años (*Uroctonus yaschenkoi* (Birula) (Shorthouse 1971) e incluso 7 años para *Pandinus gambiensis* Herbst (Schultze 1927) hasta alcanzar la madurez sexual.

Las medidas promedio de longitud del caparazón cefalotorácico obtenidas en este trabajo fueron: para el estadio II de 4.14 mm y para el adulto de 13.6 mm; medidas que al compararlas con lo registrado por Williams (1968) en *H. arizonensis* (4.0 mm para estadio II y 14.0 mm para el adulto) se observa concordancia en los valores de los estadios extremos observados, lo que permite suponer que la estimación es correcta y que ambas especies son de tamaños similares y su patrón de crecimiento también pudiera serlo y por tanto también el factor de 1.27 pudiera ser aplicable a la especie de Arizona.

### **Agradecimientos**

Los autores desean agradecer a la Coordinación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y la Colección Nacional de Arácnidos del Instituto de Biología de la Universidad Autónoma de México por el apoyo para el trabajo de campo. Dicho trabajo fue realizado bajo el amparo de la Licencia de Colector Científico (FAUT.0175) otorgado por la SEMARNAT al Dr. O. Francke. Se agradece también el apoyo en el trabajo de campo a Ulises Torres, Carlos Santibáñez, Alejandro Valdés, Héctor Montaña, Tania Palafox y Víctor Guzmán.

La primera autora desea agradecer a Conacyt por el apoyo financiero otorgado a través de la beca asignada para la realización de estudios de Maestría.

## Referencias

- Beutelspacher, B. C. R. 2000. Catálogo de los Alacranes de México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. 175 pp.
- Brown, C. A. 1997. Growth rates in the scorpion *Pseudouroctonus reddelli* (Scorpionida, Vaejovidae). *The Journal of Arachnology* 25:288–294
- Brown, C. A. 2001. Allometry of offspring size and number in scorpions. En: *Scorpions 2001. In memoriam Gary A. Polis*. V. Fet and P.A. Selden (eds.). British Arachnological Society. Burnham Beeches, pp. 307-315.
- Brown, C. A., J. M. Davis, D. J. O'Connell y D. R. Formanowitz, Jr. 2002. Surface density and nocturnal activity in a west Texas assemblage of scorpions. *Southwestern Naturalist* 47:409-419.
- Fet, V., W. D. Sissom, G. Lowe y M. E. Braunwalder. 2000. *Catalog of the Scorpions of the World (1758-1998)*. New York Entomological Society. New York, USA. 690 pp.
- Francke, O. F. 1976. Observations on the life history of *Uroctonus mordax* Thorell (Scorpionida, Vaejovidae). *Bulletin of the British Arachnological Society* 3:254–260.
- Francke, O.F y D. W. Sissom 1984. Comparative review of the methods used to determine the number of molts to maturity in scorpions (Arachnida). With analysis of the post-birth development of *Vaejovis coahuilae* Williams (Vaejovidae). *Journal of Arachnology* 12:1-20.
- Francke, O. F. y L. Prendini. 2008. Phylogeny and classification of the giant hairy scorpions, *Hadrurus* Thorell (Iuridae Thorell): a reappraisal. *Systematics and Biodiversity* 6 (2): 205–223
- García, E. 1981. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. *Inst. Geog. UNAM*. 252 pp.
- Lourenço, W.R. 1979. Le scorpion Buthidae: *Tityus mattogrossensis* Borelli, 1901(morphologie, écologie, biologie et développement postembryonnaire). *Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris 4e sér.* 1 (A1): 95-117.

- Lourenço, W.R. 1988. Le développement postembryonnaire de *Centruroides pococki* Sissom & Francke, 1983 (Buthidae) et de *Didymocentrus lesueurii* (Gervais, 1844) (Diplocentridae) (Arachnida, Scorpiones). *Revue Arachnologique* 7 (5): 213-222.
- Lourenço, W.R. 1989. Le développement postembryonnaire de *Rhopalurus princeps* (Karsch, 1879) (Scorpiones, Buthidae). *Revista Brasileira de Biologia* 49 (3): 743-747.
- Polis, G.A. & McCormick, S.J. 1986. Patterns of resource use and age structure among a guild of desert scorpions. *Journal of Animal Ecology* 55: 59–73.
- Polis, G. A. y W. D. Sissom. 1990. Life History. En: G. A. Polis (ed.). *The Biology of Scorpions*. Stanford University Press. Stanford, California. p. 161-223.
- Polis, G. A. 1990. Ecology. En: Polis, G. A (ed.). *The Biology of Scorpions*. Stanford University Press. Stanford, California, p. 247-293.
- Ponce, S. J., 2003. Ecología y Distribución del género *Centruroides* Marx 1890 (Scorpiones: Buthidae), en la Depresión del Balsas del Estado de Michoacán. Tesis Doctorado, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro, México. 276 pp.
- Ponce, S. J. y C. Díaz-Mora. 2002. Alacranes (Arachnida: scorpiones) de Colola, Municipio de Aquila, Michoacán, México. *Revista Ciencia Nicolaita* 33:19-28.
- Ponce, S. J., O. Francke B. y H. Suzán A. 2006. Actividad superficial y utilización del hábitat por *Centruroides balsasensis* Ponce y Francke (Scorpiones: Buthidae). *Revista Biológicas* 8:130-137.
- Ponce S. J. y X. J. Vázquez V. 2007. Aspectos ecológicos de *Centruroides limpidus limpidus* (Karsch) en una localidad de Zitácuaro, Michoacán. *Entomología Mexicana* 6 (1): 71-75
- Quijano-Ravell, A. F.; J. Ponce-Saavedra; O. F. Francke B. Caracterización de las madrigueras de *Hadrurus gertschi* Sologlad (Scorpiones: Luridae) en una localidad de Guerrero, México. *Revista Ibérica de Aracnología*. (Enviado)

- Rouaud, C., H. Dietmar y W. R. Lourenço. 2000. Life history of *Caribetityus elii* (Armas & Marcano Fondeur, 1992) from the Dominican Republic (Scorpiones, Buthidae). *European Arachnology* 2000:87-90.
- Rzedowski, J. 1978. *La vegetación de México*. Ed. Limusa. México. 432 pp.
- Schultze, W. 1927. Biology of the large Philippine forest scorpion. *Philippine J. Sci.*, 32 (3):m 375-388.
- Shorthouse, D. J. (1971). Studies on the biology and energetics of the scorpion *Urodacus yaschenkoi* (Birula 1904). Ph.D. Thesis, Australian National University.
- Sissom, W. D. 1980. Life histories of two North American scorpions: *Centruroides vittatus* (Say) (Buthidae) and *Vaejovis bilineatus* Pocock (Vaejovidae). Thesis in Zoology. Master of Sciences. Texas Tech University. 97 pp.
- Sissom, W. D. and O. F. Francke. 1983 . Post-birth development of *Vaejovis bilineatus* Pocock (Scorpiones: Vaejovidae) . *Journal of Arachnology* 11 :69-75.
- Sissom, W. D., G. A. Polis y D. D. Watt. 1990. Field and Laboratory methods. En: Polis, G. A (Ed.). *The Biology of Scorpions*. Stanford University Press. Stanford, California. pp. 445-461.
- Smith, G. T. (1966). Observations on the life history of the scorpion *Urodacus abruptus* Pocock (Scorpionidae), and an analysis of its homesites. *Aust. J. Zool.* 14, 383-98.
- Williams, S. C. 1968. Habitat preference and surface activities of the scorpions *Hadrurus arizonensis*, *Vejovis confusus* and *Vejovis spinigerus*. Thesis Doctor of Philosophy. Arizona State University. 101 pp.
- Williams, S. C. 1969. Birth activities of some North American scorpions. *Proceedings of the California Academy of Sciences* 37:1-24.
- Yamashita, T. 2004. Surface activity, biomass, and phenology of striped scorpion, *Centruroides vittatus* (Buthidae) in Arkansas. *Euscorpius-Occasional Publications in Scorpiology* 17:25-33.

## **CAPITULO II. Densidad, distribución espacial y biomasa de *Hadrurus gertschi* Soleglad (Scorpiones, Iuridae) en una localidad de Guerrero, México.**

(Artículo enviado a la Revista Ibérica de Aracnología en junio de 2010)

Ana F. Quijano-Ravell <sup>1</sup>, Javier Ponce-Saavedra <sup>1\*</sup>, Oscar F. Francke <sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Laboratorio de Entomología “Biol. Sócrates Cisneros Paz,” Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Edificio B-4, 2º. Piso, Ciudad Universitaria, CP 58060 Morelia, Michoacán.

<sup>2</sup> Departamento de Zoología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado Postal 70-153, CP 04510 México, D. F.

\*Correspondencia: javierpon@gmail.com

### **Resumen**

Se presentan estimaciones de densidad, distribución espacial y biomasa de *Hadrurus gertschi* Soleglad 1976 a partir de datos de campo tomados durante un año de observaciones en el cerro “La Coronilla” cerca de Ahuehuepan, municipio de Tepecoacuilco de Trujano, Guerrero, México. Se utilizaron cinco cuadrantes de 400 m<sup>2</sup> cada uno, con diferentes exposiciones. Las mayores densidades registradas fueron de 0.3450 madrigueras por m<sup>2</sup> en el cuadrante sin pendiente, seguido del cuadrante con exposición Sur (0.2300 madrigueras por m<sup>2</sup>); mientras que las menores densidades se registraron en los cuadrantes con exposición Norte y Oeste (0.1325 y 0.0825 madrigueras por m<sup>2</sup>, respectivamente). Los valores más altos del año se registraron en el periodo de mayo a julio. La distribución espacial de las madrigueras en todas las exposiciones de acuerdo con el Índice de Morisita se ajustó a una distribución agregada. El peso promedio de los adultos fue de 2.22 ± 0.73 g en peso seco y 6.4 ± 0.89 en fresco; mientras que los juveniles variaron de 0.08 ± 0.05 g en peso seco y 0.2 en fresco para el estadio II hasta 1.10 ± 0.41 g de pesos seco y 3.63 ± 1.95 en fresco para el estadio preadulto. La biomasa estimada por hectárea fue de 2471.26 gramos en peso seco y 6190.02 g en peso fresco.

**Palabras clave:** Scorpiones, Iuridae, *Hadrurus gertschi*, densidad de madrigueras, distribución espacial, biomasa.

## **Abstract.**

Density, spatial dispersion and biomass of *Hadrurus gertschi* Sologlad 1976 were estimated from field data obtained during a year of observations at “La Coronilla” hill in the municipality of Tepecoacuilco de Trujano, Guerrero, Mexico. Five quadrants of 400 m<sup>2</sup> with differing slope exposures were used. The highest density was recorded in the quadrant without slope or “flat quadrant” with 0.3450 burrows per m<sup>2</sup> and the southern exposure quadrant (0.2300 burrows per m<sup>2</sup>). The lowest densities occurred in the quadrants with northern and western exposures (0.1325 and 0.0825 burrows per m<sup>2</sup> respectively). The highest values of the year were recorded in the months of May to July. The spatial dispersion of burrows in all exposures studied corresponds with a clumped distribution according to the Morisita Index. Average dry weight of adults was  $2.22 \pm 0.73$  g and  $6.4 \pm 0.89$  g in fresh weight. The juveniles weighted  $0.08 \pm 0.05$  g in dry weight and 0.2 of fresh weight instar II and  $1.10 \pm 0.41$  g dry weight and  $3.63 \pm 1.95$  g in fresh weight in the preadult stage. The biomass per ha was estimated in 2471.26 g of dry weight and 6190.02 g of fresh weight.

**Key words:** Scorpiones, Iuridae, *Hadrurus gertschi*, density of burrows, spatial distribution, biomass.

## Introducción

Los alacranes son un buen modelo para estudiar la dinámica poblacional, por tener un ciclo de vida largo y lento comparado con la mayoría de los artrópodos, así como por alcanzar tamaños corporales relativamente grandes sin la complejidad de las historias de vida de los vertebrados (Benton 2001).

Desde el punto de vista ecológico, la información acerca de la estructura poblacional y la dinámica de los escorpiones en México es muy escasa. Las estimaciones de densidad detectadas en los informes médicos o descripciones taxonómicas sólo mencionan si la especie es "abundante" o "escasa"; por lo tanto, el conocimiento cuantitativo de la densidad y otros parámetros demográficos que son fundamentales para el estudio de los escorpiones, está por generarse (Ponce 2003).

Se tienen conocimientos básicos de ecología de poblaciones de muy pocas especies: *Paruroctonus mesaensis* Stahnke 1974 (Polis y McCormick 1986 en Polis 1990) y *Vaejovis aff. occidentalis* (Ponce y Díaz-Mora 2002) de la familia Vaejovidae; *Urodacus yaschenkoii* (Birula 1903) (Shorthouse 1971) y *Urodacus manicatus* (Thorell 1876) (Smith 1966 en Polis 1990) de la familia Urodacidae; y *Centruroides balsasensis* Ponce y Francke 2004 (Ponce 2003, Ponce *et al.* 2006), *Centruroides vittatus* (Say 1821) (Brown 2001, Brown *et al.* 2002; Yamashita 2004) y *Centruroides limpidus* (Karsch 1879) (Ponce y Vázquez 2007) de la familia Buthidae.

Polis (1990) presenta datos sobre la densidad de algunas especies en los que se aprecian valores tan altos como 8 a 12 animales por m<sup>2</sup> en *Serradigitus littoralis* (Williams 1980) de la familia Vaejovidae en Baja California, México, hasta valores tan bajos como 0.0002 alacranes por m<sup>2</sup> para *Tityus fasciolatus* Pessôa 1935 (Buthidae) en Brasilia, Brasil. Hay 21 especies con densidades menores a 1/m<sup>2</sup> y solo tres con valores superiores.



La biomasa es un factor importante a considerar en los análisis de población (Polis 1990); la forma más fácil de estimar la biomasa es la multiplicación de la densidad promedio de los individuos por el promedio de masa corporal; sin embargo, las diferencias en el tamaño y la edad deben ser consideradas, lo que modifica las estimaciones (Polis 1990, Ponce 2003).

La familia Luridae está conformada según Francke y Prendini (2008) por cinco géneros de los cuales *Hadrurus* Thorell, 1876 comprende ocho especies: *H. arizonensis* Ewing 1928; *H. aztecus* Pocock 1902; *H. concolorous* Stahnke 1969; *H. gertschi* Soleglad; *H. hirsutus* (Wood 1863), *H. obscurus* Williams 1970; *H. pinteri* Stahnke 1969 y *H. spadix* Stahnke 1940; esta última especie es la única del género que no se encuentra registrada para México. Las ocho especies de escorpiones que comprenden el género *Hadrurus*, son de hábitos fosoriales y raramente vagan lejos de la entrada de su madriguera (Francke y Prendini 2008).

*Hadrurus gertschi* construye madrigueras típicas muy fáciles de identificar en el campo, lo cual facilita considerablemente los estudios de densidad y dispersión poblacional. Los alacranes permanecen en la misma madriguera durante toda su vida y la van agrandando después de cada muda (Quijano-Ravell et al., en preparación), lo cual permite estimar la biomasa presente con mayor precisión.

Se conocen pocos datos ecológicos del género *Hadrurus*, como su densidad en los desiertos de Baja California en donde para *H. hirsutus* y *Hadrurus* spp. (probablemente *H. concolorous*) se reportan densidades de 0.5 ind./m<sup>2</sup> a partir de datos no publicados (Polis 1990). Aspectos fenológicos de *Hadrurus arizonensis* fueron trabajados por Williams (1968) y recientemente en *H. gertschi* por Quijano-Ravell et al. (enviado). No existen datos sobre la distribución espacial y la biomasa de alacranes de la familia Luridae.

## Materiales y Métodos

### Localización del Área

El estudio fue desarrollado en el cerro “La Coronilla”, ubicado 3.4 km al noroeste de Ahuehuepan, municipio de Tepecoacuilco de Trujano, en el estado de Guerrero, México, a  $18^{\circ}00' 57''$  de latitud norte y  $99^{\circ} 31' 32''$  de longitud oeste y 857 msnm (Figura 1). Se caracteriza por tener clima cálido subhúmedo AWo (W) (i) g (García 1981) y vegetación de bosque tropical caducifolio (Rzedowski 1978). La localidad inicialmente se ubicó tomando como referencia la región de Mezcala, en donde se tienen registros previos de poblaciones de *Hadrurus gertschi* por Beutelspacher (2000) y en una visita exploratoria se observó la presencia de poblaciones inusualmente densas, de fácil acceso y que facilitaban estudios de dinámica poblacional.

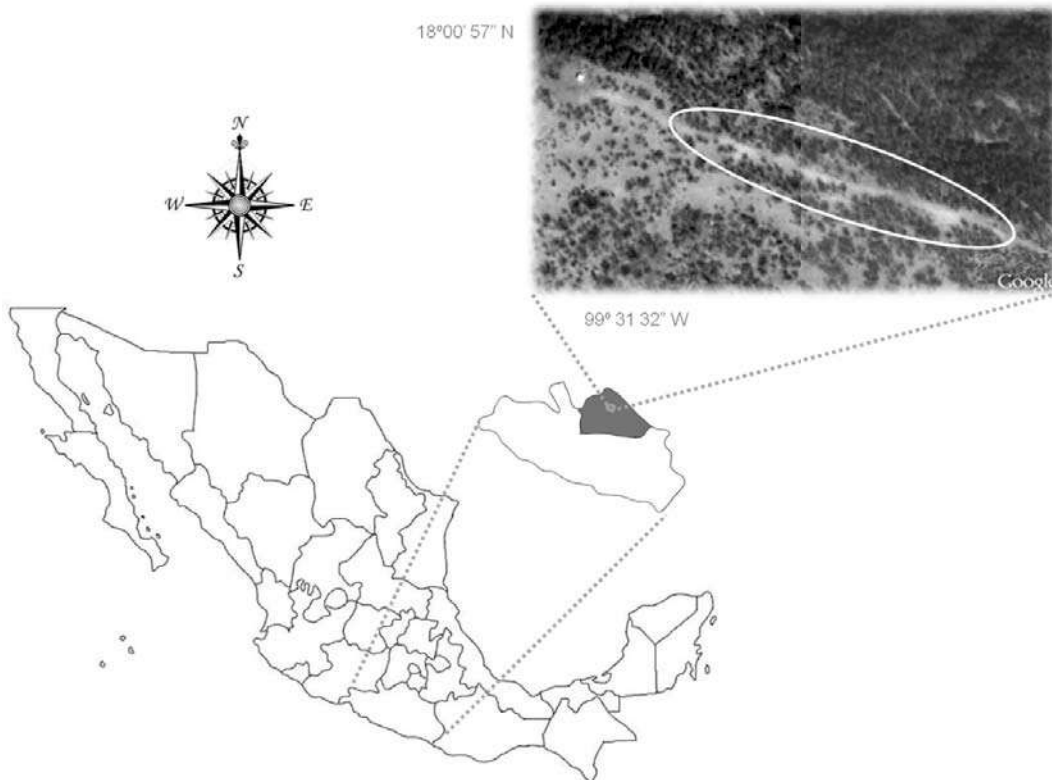


Figura 1. Ubicación del Área de estudio, “Cerro La Coronilla”, Ahuehuepan, Mpio. de Tepecoacuilco de Trujano, Guerrero, México.

## Trabajo de Campo

Se establecieron 5 cuadrantes, de 400 m<sup>2</sup> cada uno (10 x 40 m), para estimar la densidad y biomasa poblacional de *H. gertschi*, así como el patrón de distribución espacial de esta especie. Los cuadrantes fueron ubicados en diferentes áreas de la zona de estudio representando la variación ambiental detectada, principalmente las diferencias de exposición (laderas norte, sur, este y oeste así como un cuadrante plano o sin exposición definida). La distancia entre los cuadrantes más distantes fue de aproximadamente 1 km. Los cuadrantes se delimitaron con cuerda y cada esquina se marcó con una etiqueta pintada de color fluorescente (Figura 2a). Todas las etiquetas se fijaron por el centro con un clavo y una rondana. Dentro de cada cuadrante se registró individualmente cada madriguera y el número total; para ello se utilizaron otras etiquetas, las cuales tenían el número y orientación del cuadrante así como el número de madriguera correspondiente (Figura 2b). Todas las etiquetas se ubicaron a 10 cm. al sur de la entrada de la madriguera.

Cada mes se registraban y marcaban las nuevas madrigueras que se encontraran en cada cuadrante y se elaboraron mapas por cuadrante (Figura 3).

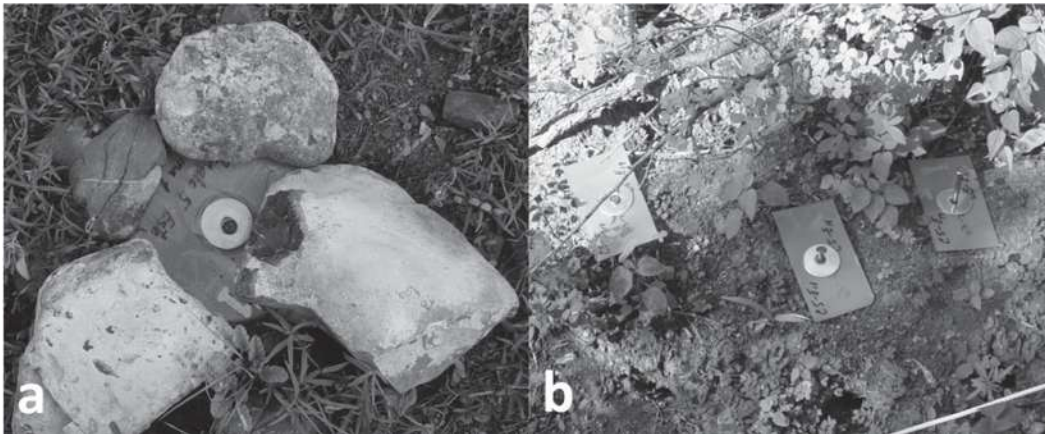


Figura 2. Etiquetas en campo: a) esquinas de los cuadrantes; b) etiquetas para la ubicación de madrigueras.

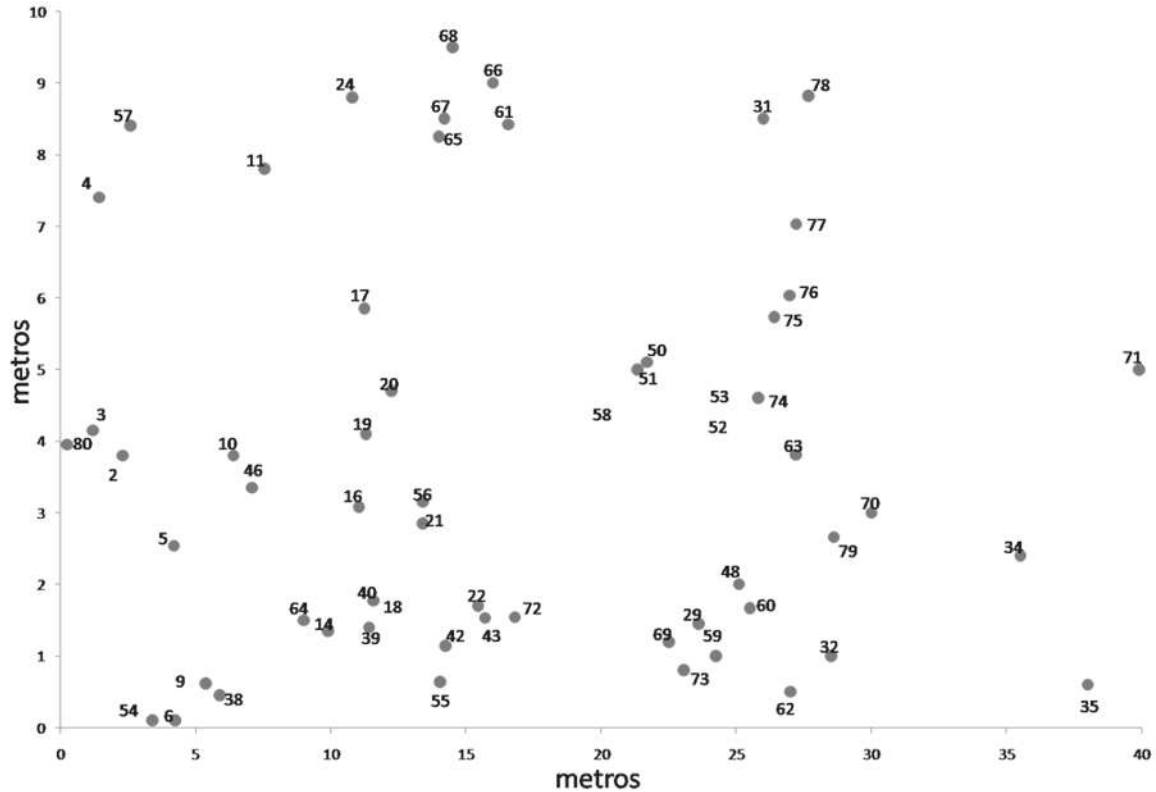


Figura 3. Ejemplo de los mapas de distribución de madrigueras dentro de los cuadrantes.

## Análisis de datos

Se hizo la estimación de la densidad mediante el método de cuadrantes. Se contaron las madrigueras en cada uno de los cuadrantes definidos en campo y mensualmente se estimó la densidad por cuadrante de  $400 \text{ m}^2$ ; se obtuvo la densidad por  $\text{m}^2$  y se extrapolo a densidad por hectárea. Con los datos sobre la estructura de la población determinada por Quijano et al. (enviado), en donde se registraron 8 machos y 34 hembras en estado adulto, con una mayor proporción de hembras en los meses de mayo (17.65%) y julio (32.35%) y en el caso de los machos el mes de julio (62.5%), y la proporción de adultos y juveniles registrada en un año de observaciones, se calculó la densidad de adultos y juveniles.

## **Distribución espacial de *H. gertschi***

Para estimar el patrón de distribución espacial de las madrigueras se utilizaron los datos de conteo mensual y se aplicó la relación varianza-media para obtener el Índice de Morisita ( $I_d$ ), el cual si tiende a 1.0 indica que la distribución es aleatoria, si es cercano o menor de 1.0 la distribución es uniforme y, si es mayor de 1.0 entonces se trata de una distribución agregada.

El índice de Morisita utiliza la estructura poblacional (frecuencias relativas) para determinar la similitud entre localidades (en este caso cuadrantes). Se define como la relación entre la probabilidad que dos individuos extraídos de cada una de las poblaciones, sean las mismas especies, entre la probabilidad que dos individuos sacados dentro de cada una de la poblaciones sean de la misma especie.

El patrón de distribución espacial fue probado con Ji-cuadrada aplicada sobre  $I_d$ . Con este índice se puede obtener un índice estandarizado que varía de -1.0 a +1.0 y que se interpreta en función del valor de cero; así, si se obtiene un valor mayor de cero se concluye que se presenta una distribución agrupada, igual a cero será una distribución aleatoria y menor de cero la distribución es uniforme. La interpretación se hizo con el índice estandarizado porque tiene la ventaja de ser independiente de la densidad de la población y del tamaño de la muestra (Myers 1978 en Krebs 2000).

## **Biomasa**

Para el peso fresco, a fines del mes de abril de 2010 se recolectaron y pesaron 35 ejemplares a los cuales se les midió la longitud del caparazón cefalotorácico para establecer su edad usando los estadios propuestos por Quijano et al. (enviado). Se pesaron en campo utilizando una báscula digital de bolsillo marca Escali, con precisión de 0.1 g.

Durante la noche se capturaron: 1 adulto, 4 ejemplares de estadio VI, 15 de estadio V y 3 de estadio IV. Mediante excavación durante el día se obtuvieron 4 alacranes de estadio IV y 4 adultos de los cuales una hembra se capturó con su camada de crías (21) en estadio II, algunas de las cuales habían sido detectadas por la noche con la lámpara UV en la entrada de la madriguera. Se pesaron por separado cuatro crías y todos los demás ejemplares capturados.

Para estimar la biomasa en peso seco, primero se utilizó una muestra de 58 ejemplares provenientes de capturas en el mismo sitio efectuadas en julio de 2006 (visita exploratoria), se les asignó edad y posteriormente se sometieron a proceso de deshidratación en una estufa durante 5 horas a 75°C. Los ejemplares se pesaron en una báscula digital marca Kern modelo profesional con precisión de 0.01g, obteniendo un dato promedio de peso por individuo y por categoría de edad (estadio). Una prueba preliminar de Ji-cuadrada para comparar los pesos secos obtenidos para hembras y machos adultos no arrojó diferencia estadísticamente significativa y en consecuencia se aplicaron los valores promedio obtenidos a los adultos independientemente del sexo y a los juveniles de acuerdo con la edad correspondiente.

En la muestra de peso fresco no se tuvo representación del estadio III, y en la de peso seco del estadio IV, por lo que por medio de los pesos promedios obtenidos para las edades representadas, se hizo un análisis de regresión no lineal (acorde a la tendencia de los datos), encontrando que el modelo exponencial tuvo la mejor explicación al comportamiento de los datos observados ( $r^2 = 0.9653$  para peso fresco y 0.997 para el peso seco) y, con la ecuación resultante, se estimó el peso promedio que deberían tener los estadios faltantes. Con estos datos se calculó la biomasa esperada por hectárea para cada cuadrante, considerando el número máximo de madrigueras registrado y la proporción de adultos y juveniles obtenida de todos los ejemplares capturados durante el año.

## Resultados

### Densidad

Al finalizar el estudio se encontró que el mayor número de madrigueras se observó en el cuadrante plano, con una densidad estimada de 0.345 madrigueras por m<sup>2</sup>, seguido del cuadrante con exposición Sur con 0.2300 madrigueras por m<sup>2</sup>. Los cuadrantes con menor densidad de madrigueras registradas fueron el cuadrante Oeste y el de exposición Norte que presentaron 0.0825 y 0.1325 madrigueras por m<sup>2</sup>, respectivamente (Tabla I).

Tabla I. Estimación de la densidad (individuos / m<sup>2</sup>) del alacrán *Hadrurus gertschi* para cada cuadrante durante un ciclo anual.

PENDIENTE	SUR	PLANO	NORTE	OESTE	ESTE	Valor
MES	Ind/m2	Ind/m2	Ind/m2	Ind/m2	Ind/m2	Promedio
Agosto	0.100	0.155	0.068	<u>0.043</u>	0.098	0.093
Septiembre	0.100	0.155	0.078	<u>0.043</u>	0.120	0.099
Octubre	0.118	0.175	0.080	0.048	0.130	0.110
Noviembre	0.118	0.175	0.080	0.050	0.148	0.114
Diciembre	0.138	0.198	0.080	0.058	0.148	0.124
Enero	0.143	0.200	0.083	0.058	0.153	0.127
Febrero	0.143	0.200	0.083	0.058	0.153	0.127
Marzo	0.148	0.215	0.083	0.058	0.153	0.131
Abril	0.148	0.220	0.085	0.065	0.153	0.134
Mayo	0.228	0.293	0.105	0.075	0.208	0.182
Junio	0.230	<b>0.345</b>	0.133	0.075	0.208	0.198
Julio	0.230	<b>0.345</b>	0.133	0.083	0.215	0.201
Valor Promedio:	0.154	0.223	0.091	0.060	0.157	0.137
Desv. Est.	0.05	0.07	0.02	0.01	0.04	0.04

Los números en negritas indican las densidades más altas registradas y los subrayados las menores.

### Distribución espacial de *H. gertschi*

La estimación del índice de Morisita para la distribución espacial obtenida en todos los cuadrantes fue mayor de 1.0, lo que indica que las madrigueras se distribuyen de manera agregada. Esto se corroboró usando el índice de Morisita

estandarizado al obtener un valor mayor de cero. Este comportamiento se observó en todos los cuadrantes para todas las fechas que duró el estudio (Tabla II).

Tabla II. Estimación del patrón de la distribución espacial de los alacranes para cada cuadrante durante un ciclo anual.

MES	MADRIGUERAS TOTALES POR CUADRANTE					ÍNDICE	ÍNDICE MORISITA
	SUR	PLANO	NORTE	OESTE	ESTE	MORISITA	ESTANDARIZADO
ENERO	57	80	33	23	61	1.15	0.51
FEBRERO	57	80	33	23	61	1.15	0.51
MARZO	59	86	33	23	61	1.17	0.52
ABRIL	59	88	34	26	61	1.15	0.52
MAYO	91	117	42	30	83	1.19	0.52
JUNIO	92	138	53	30	83	1.21	0.52
JULIO	92	138	53	33	86	1.19	0.52
AGOSTO	40	62	27	17	39	1.15	0.51
SEPTIEMBRE	40	62	31	17	48	1.28	0.51
OCTUBRE	47	70	32	19	52	1.14	0.51
NOVIEMBRE	47	70	32	20	59	1.14	0.51
DICIEMBRE	55	79	32	23	59	1.15	0.51

### Biomasa en peso fresco

Con los ejemplares capturados y excavados se tuvieron representados 5 estadios de *Hadrurus gertschi*. Mediante el modelo de regresión exponencial se estimó el peso promedio esperado para el estadio III faltante (Tabla III).

Considerando los datos de peso seco, un adulto tiene un peso promedio de 2.22 g que corresponde a 27.75 veces la biomasa que tenía el animal en su fase de dispersión de la madriguera materna (en el estadio II); mientras que en peso fresco ésta proporción es de 32 veces (Tabla III); lo que representa un consumo energético muy importante que debe realizar el animal durante su ciclo de vida hasta llegar al estado adulto.



Tabla III. Peso promedio en peso fresco y peso seco (en gramos) por estadio de desarrollo.

<b>ESTADIO</b>	<b>PESO FRESCO</b>	<b>PESO SECO</b>	<b>**n<sub>f</sub>/n<sub>s</sub></b>
II	0.2	0.08 (±0.05)	4/13
III	0.39*	0.15 (±0.05)	0/5
IV	1.23 (±0.24)	0.30*	7/0
V	2.32 (±0.54)	0.6 (±0.19)	15/33
VI	3.63 (±1.95)	1.1 (±0.41)	6/28
<b>Adulto</b>	<b>6.4 (±0.89)</b>	<b>2.22 (±0.73)</b>	<b>5/18</b>

\*Peso estimado mediante regresión exponencial

\*\*Tamaño de muestra para peso fresco (n<sub>f</sub>) y peso seco (n<sub>s</sub>)

Las proporciones observadas en las capturas en campo durante un año (n=249), reflejan que el 18.56 % de la población fueron adultos y el resto juveniles de diferentes edades, representados por un 28.87 % de estadio VI, un 34.02% de estadio V, un 5.15% de estadio III y un 13.40% de estadios II. Aplicando la proporción de edades registrada en campo, se esperarían 10675.10g/ha como máximo y 2534.38g /ha como mínimo en peso fresco; mientras que en peso seco 4261.85g por hectárea como máximo y 1011.81g /ha como mínimo (Tabla IV).

Aplicando el registro máximo de madrigueras por cuadrante en todas las fechas de muestreo y extrapolando a una hectárea, bajo la hipótesis de que en la muestra se tiene representada la proporción de edades que está en campo, se obtuvo mayor valor en biomasa (10675.1 g en peso fresco y 4261.85 g en peso seco) para el cuadrante sin exposición (plano) con respecto a los demás; mientras que los de exposición Sur (7065.53 g y 2820.79 g) y Este (6604.74g y 2636.83 g) tuvieron biomasa por hectárea altas pero estadísticamente menores a las del cuadrante plano (p<0.05). En las laderas de exposiciones Oeste y Norte, la biomasa fue claramente menor durante el ciclo anual (p<0.05), siendo el

cuadrante de exposición Oeste el que menor biomasa aportó en este estudio (Tabla V).

Tabla IV. Estimación de biomasa en peso fresco y peso seco por hectárea y densidad por edad del alacrán *Hadrurus gertschi*.

Cuadrante	No. máximo de madrigueras por cuadrante de 400 m <sup>2</sup>	Densidad estimada por hectárea	Número esperado de Adultos/ha	Proporción esperada de Estadio VI/ha	Proporción esperada de Estadio V/ha	Proporción esperada de Estadio III/ha	Proporción esperada de Estadio II/ha	Biomasa estimada/ha en g de peso fresco	Biomasa estimada/ha en g de peso seco
Plano	139	3475	645	1003	1182	179	466	10675.1	4261.85
Sur	92	2300	427	664	782	118	308	7065.53	2820.79
Este	86	2150	399	621	731	111	288	6604.74	2636.83
Norte	53	1325	246	382	451	68	178	4070.36	1625.02
Oeste	33	825	153	238	281	42	111	2534.38	1011.81
<b>PROMEDIO</b>								6190.02	2471.26

La estimación promedio de biomasa en peso fresco obtenida para *Hadrurus gertschi* en la localidad trabajada fue de 6190.02g/ha  $\pm$  3118.9; mientras que para peso seco fue de 2471.21 g /ha  $\pm$  1245.18. La regresión lineal entre el peso seco y el peso fresco fue altamente significativa ( $p < 0.0001$ ) y mostró una muy alta correlación (0.977). Lo anterior respalda las estimaciones hechas para ambas mediciones de biomasa. (Tabla IV).

## Discusión

### Densidad

La densidad más alta se encontró en el cuadrante Plano, seguido por los cuadrantes de exposición hacia el Sur y el Este, luego el Norte y finalmente el Oeste. No existe una explicación clara ligada a los varios microclimas que nos permitan comprender la variación observada en la densidad, la cual fue de una magnitud de diferencia 3.5 veces más entre el cuadrante más denso y el menos denso. No está claro si la vegetación influye en la distribución de los escorpiones, en los pocos trabajos en que esto se ha explorado, no se encontró relación significativa entre el tipo de vegetación y la distribución de los alacranes australianos (Koch 1977, 1981) ni con *Centruroides balsasensis* en México (Ponce 2003). Algunas especies pueden presentar asociación positiva con algún tipo de vegetación particular en su área de distribución, en covarianza con la textura o dureza del suelo (Bradley 1986), lo que puede ser una coincidencia entre la vegetación y los requerimientos climáticos y/o edáficos de las especies (Polis 1990). En el trabajo de tesis de Maestría de la primera autora, se analizó la posible relación entre la riqueza vegetal y la cobertura, con respecto a la densidad de madrigueras de *H. gertschi* y no se encontró evidencia estadística de ello ( $p > 0.05$ ). El suelo, en un análisis físico y químico de perfiles provenientes de los cuadrantes en estudio, tampoco mostró efecto sobre la densidad de madrigueras ( $p > 0.05$ ); aunque un análisis más fino podría aportar mayor información en el nivel de microhábitat.

Las estimaciones de densidad muestran que en los cinco cuadrantes hubo un aumento considerable (aprox. 100%) en el curso de un año, lo cual se debe principalmente a que al inicio del trabajo, había muchas madrigueras “inactivas”, las cuales no se reconocieron como pertenecientes a los alacranes, ya que estos alacranes tapan la entrada de sus madrigueras cuando no están activos en la superficie, específicamente durante las mudas y los partos, que es cuando son susceptibles a mayores tasas de depredación y de deshidratación y conforme se

“activaron” y pudieron observarse sus madrigueras se fueron registrando. También se tuvieron registros de madrigueras que inicialmente estaban activas y fueron marcadas, pero después transcurrieron hasta seis meses en los que dichas madrigueras se mantuvieron inactivas y después de dicho lapso se “reactivaron” nuevamente por varios meses consecutivos (Quijano et al. enviado)

Los datos disponibles de densidad para el género *Hadrurus*, correspondientes a *H. hirsutus* y *Hadrurus* spp. (probablemente *H. concolorous*) en los desiertos de Baja California son de 0.5 ind. /m<sup>2</sup> (Polis 1990), que representa una cantidad de animales muy superior al máximo de madrigueras registrado en este trabajo para el cuadrante plano en los meses de junio y julio (0.345) y más del doble del promedio máximo registrado para el mismo cuadrante (0.223). Con base en los datos de este trabajo, observaciones en Baja California durante 2004 por Oscar Francke B. y con los datos que presenta Polis (1990) (comunicaciones personales de Williams), consideramos que dicha densidad es un valor muy alto para estas especies y que sería recomendable revisar el método de estimación utilizado en esos trabajos.

En México hay estimaciones de densidad obtenidas para *Centruroides balsasensis*, las cuales son bajas en comparación con los datos disponibles para otras especies de Buthidae, ya que el valor más alto obtenido fue de 0.18 individuos/m<sup>2</sup> (Ponce 2003), similar al valor más bajo registrado para *Centruroides exilicauda* (Wood, 1983) en el matorral espinoso del Sur de Baja California (0.2 individuos/m<sup>2</sup>); aunque esta especie llega a registros de 0.5 individuos/m<sup>2</sup> (Polis 1990).

Los estudios más recientes en éste aspecto son los de Brown et al. (2002) y Yamashita (2004) con *Centruroides vittatus* quienes registraron densidades de 2.92 ind. /m<sup>2</sup> y de 2.41 ind. /m<sup>2</sup> respectivamente y las estimaciones de Ponce y Vázquez (2007) para *Centruroides limpidus* (Karsch 1879), quienes con métodos de captura-recaptura reportan densidades de 0.03 a 0.08 ind. /m<sup>2</sup>.

Comparativamente estas estimaciones son mucho menores que la densidad de *Hadrurus gertschi*, a pesar de que esta especie es de mucho mayor tamaño.

## **Biomasa**

Una forma cruda de estimación de la biomasa puede ser la simple multiplicación de la densidad por un peso promedio por individuo en fresco. Este método fue empleado por Shorthouse (1971) y Shorthouse y Marples (1982) para *Urodacus yaschenkoi* (Birula, 1903) (peso basado en los grupos de edad) en Australia y por Bacon (1972) para *Uroctonus mordax* Thorell 1876 en Estados Unidos. La biomasa estimada fue de 1230 a 1850 g/ha para *U. yaschenkoi* y 8300 g/ha para *U. mordax*. Polis (1990) hizo estimaciones para tres especies de la familia Buthidae, una de la familia Vaejovidae y una del género *Hadrurus* usando el mismo método. Para *Hadrurus* se estimaron 20,000 g/ha, según datos no publicados de G. Polis (1990). La biomasa estimada para *Hadrurus gertschi* es mucho menor que la mencionada por Polis (1990) para el género en California, a pesar de que la densidad registrada en este trabajo es alta, lo que refuerza la idea de que al usar datos no publicados puede haber una sobrestimación en lo reportado por Polis (1990).

Las estimaciones promedio de biomasa por edad muestran un comportamiento esperable en términos del factor de crecimiento de Dyar, ya que el valor del peso fresco y el peso seco es cercano al doble del correspondiente a la edad anterior, en congruencia con un patrón de crecimiento geométrico que se ajusta a un modelo exponencial (Tablas IV)

En este trabajo se estimó la biomasa en peso fresco para obtener datos comparables con otros trabajos y agregamos también los valores en peso seco, como una forma alternativa de medir la biomasa cuando no se tiene la posibilidad de pesar los ejemplares en campo, o en un tiempo corto después de la recolecta.

## **Distribución Espacial**

Los escorpiones no se distribuyen al azar dentro de un hábitat; por el contrario, especies particulares se encuentran normalmente en microhábitats específicos en función de factores como la temperatura, precipitación, suelo y la fisonomía ambiental (Polis 1990). En el caso específico de *H. gertschi* existen observaciones preliminares de que los alacrancitos del estadio II no se dispersan muy lejos de la madriguera de la madre, y la mayoría construye sus pequeñas madrigueras a pocos metros de distancia, lo cual definitivamente contribuye a la dispersión agrupada que exhibe la especie.

## **Agradecimientos**

Los autores desean agradecer a la Coordinación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y la Colección Nacional de Arácnidos del Instituto de Biología de la Universidad Autónoma de México por el apoyo para el trabajo de campo. Dicho trabajo fue realizado bajo el amparo de la Licencia de Colector Científico (FAUT.0175) otorgado por la SEMARNAT al Dr. O. Francke. Se agradece también el apoyo en el trabajo de campo a Ulises Torres, Carlos Santibáñez, Alejandro Valdés, Héctor Montaña, Tania Palafox y Víctor Guzmán.

La primera autora desea agradecer a Conacyt por el apoyo financiero otorgado a través de la beca asignada para la realización de estudios de Maestría.

## Referencias

- Bacon, A. D. 1972. Ecological studies on a population of *Uroctonus mordax* Thorell. Master's Thesis, Calif. St. Univ. San Francisco. 54pp.
- Beutelspacher, B. C. R. 2000. Catálogo de los Alacranes de México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 175 pp.
- Benton, T. 2001. Reproductive Ecology. *In*: Brownell, P. y G. Polis (Eds.). Scorpion Biology and Research. Oxford University Press. New York. pp. 278-301.
- Bradley, R. A. 1986. The relationship between population density of *Paruroctonus utahensis* (Scorpionida: Vaejovidae) and characteristics of its habitat. *Journal of Arid Environments*. 11:165–171.
- Brown, C. A. 2001. Allometry of offspring size and number in scorpions. *In* Scorpions 2001. *In memoriam* Gary A. Polis, V. Fet and P.A. Selden (Eds.). British Arachnological Society. Burnham Beeches. pp 307-315.
- Brown, C. A., J. M. Davis, D. J. O'Connell y D. R. Formanowitz Jr. 2002. Surface density and nocturnal activity in a west Texas assemblage of scorpions. *Southwestern Naturalist*. 47:409-419.
- Francke, O. F. y L. Prendini. 2008. Phylogeny and classification of the giant hairy scorpions, *Hadrurus* Thorell (Iuridae Thorell): a reappraisal. *Systematics and Biodiversity* 6 (2):205–223.
- García, E. 1981. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. 252 pp.
- Koch, L.E. 1977. The taxonomy, geographic distribution and evolutionary radiation of Australo-Papuan scorpions. *Rec. Western Australian Mus*. 5:83-367.
- Koch, L.E. 1981. The scorpions of Australia: aspects of their ecology and zoogeography. *In* Ecological Biogeography of Australia. Keast A. (Ed.). Monogr. Biol., 41 (2). pp 875-884.
- Krebs, Charles J. 2000. Ecological Methodology, 2nd (Ed.). Addison-Welsey Educational Publishers, Inc. Menlo Park, CA. 620 pp.
- Polis, G. A. 1990. Ecology. *In* The Biology of Scorpions. G. A. Polis (Ed.). Stanford University Press. Stanford, California. pp. 247-293.
- Ponce, S. J. y C. Díaz-Mora. 2002. Alacranes (Arachnida: Scorpiones) de Colola,

- Municipio de Aquila, Michoacán, México. Revista Ciencia Nicolaita 33:19-28.
- Ponce, S. J., 2003. Ecología y Distribución del género *Centruroides* Marx 1890 (Scorpiones: Buthidae), en la Depresión del Balsas del Estado de Michoacán. Tesis Doctorado, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro, México. 276 pp.
- Ponce, S. J., O. Francke B. y H. Suzán A. 2006. Actividad superficial y utilización del hábitat por *Centruroides balsasensis* Ponce y Francke (Scorpiones: Buthidae). Revista Biológicas 8:130-137.
- Ponce S. J. y X. J. Vázquez V. 2007. Aspectos ecológicos de *Centruroides limpidus limpidus* (Karsch) en una localidad de Zitácuaro, Michoacán. Entomología mexicana 6 (1):71-75.
- Quijano-Ravell, A. F.; J. Ponce-Saavedra; O. F. Francke B. Ciclo de vida de *Hadrurus gertschi* Soleglad (Scorpiones, Iuridae) en una localidad del Estado de Guerrero, México. Revista Ibérica de Aracnología. Enviado.
- Quijano-Ravell, A. F.; J. Ponce-Saavedra; O. F. Francke B. y M. A. Villaseñor R. Caracterización de las madrigueras de *Hadrurus gertschi* Soleglad (Scorpiones: Iuridae) en una localidad de Guerrero, México. Revista Ibérica de Aracnología. Enviado.
- Rzedowski, J. 1978. La vegetación de México. Ed. Limusa. México. 432 pp.
- Shorthouse, D. J. 1971. Studies on the biology and energetics of the scorpion *Urodacus yaschenkoi* (Birula 1904). Ph. D. Thesis. Australian National University. 85 pp.
- Shorthouse, D. J. y Marples, T. G. 1982. The life stages and population dynamics of an arid zone scorpion *Urodacus yaschenkoi* (Birula 1903). Austr. J. Ecol. 7 (2):109-118.
- Williams, S. C. 1980. Scorpions of Baja California, Mexico, and adjacent islands. Occ. Papers Cal. Acad. Sc. 135:1-127.
- Yamashita, T. 2004. Surface activity, biomass, and phenology of striped scorpion, *Centruroides vittatus* (Buthidae) in Arkansas. Euscorpius-Occasional Publications in Scorpology 17:25-33.



## **CAPITULO III. Caracterización de las madrigueras de *Hadrurus gertschi* Soleglad (Scorpiones: Iuridae) en una localidad de Guerrero, México.**

(Artículo enviado a la Revista Ibérica de Aracnología en julio de 2010)

Ana F. Quijano-Ravell <sup>1</sup>, Javier Ponce-Saavedra <sup>1\*</sup>, Oscar F. Francke <sup>2</sup>, Marco Villaseñor Ramos <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Entomología “Biol. Sócrates Cisneros Paz,” Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Edificio B-4, 2° piso. Ciudad Universitaria, 58060 Morelia, Michoacán.

<sup>2</sup> Departamento de Zoología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado Postal 70-153, 04510 México, D. F.

\*Correspondencia: javierpon@gmail.com

### **Resumen**

Se presenta un análisis de correlación entre las categorías de anchura máxima de las entradas de las madrigueras de *Hadrurus gertschi* Soleglad 1976 y la longitud del caparazón cefalotorácico de los animales que las habitan, para evaluar su posible utilidad como estimadores de la edad del alacrán sin que el mismo sea extraído de su habitáculo. También se caracterizan las madrigueras excavadas en cuanto a la entrada, la orientación de la misma, forma, profundidad, longitud de los túneles y medidas de la cámara terminal. Se encontró alta correlación estadística entre la anchura máxima de la entrada de la madriguera y la longitud del caparazón cefalotorácico de los alacranes ( $r^2 = 0.5375$ ) así como una buena clasificación de los alacranes por estadio en función de la anchura máxima de la entrada de las madrigueras, mediante un Análisis Discriminante Canónico. Además se presenta la caracterización del “túmulo” encontrado en la entrada de las madrigueras activas, en el cual se encontraron partes de la exuvia del alacrán y partes de las presas consumidas por el mismo, entre las que se pudieron identificar restos de hormigas, escarabajos y otros insectos.

**Palabras clave:** Madrigueras, exposición, “túmulos”, *Hadrurus gertschi*.

## **Abstract**

A Lineal Correlation Analysis for max width of the entrance of burrows and the length of cephalotoracic shield of *Hadrurus gertschi* Soleglad 1976 was made for evaluating its utility for to estimate the scorpion's age. A characterization of burrows with the entrance, exposure, form, depth, length of tunnels and terminal camera measures included. High correlation between max width of entrance and length of cephalotoracic shield of scorpions was obtained and good classification of scorpion's age according to the max width of entrance of the burrows using Discriminant Canonical Analysis. A characterization of "tumulus" of active burrows is presented. Parts of exuvia of *Hadrurus gertschi* and remains of ants, beetles and other insects were identified.

**Key words:** Burrows, exposure, "tumulus" *Hadrurus gertschi*.

## Introducción

El orden de los escorpiones es un grupo de artrópodos quelicerados terrestres con hábitos nocturnos; durante el día se ocultan bajo piedras, troncos y grietas o en galerías que cavan ellos mismos en el sustrato; la mayor parte del tiempo se encuentran en sus refugios de donde solo salen para alimentarse y reproducirse (Polis 1990, Warburg y Polis 1990).

Aunque los escorpiones son más diversos en los desiertos, algunos de ellos se encuentran en todos los ecosistemas de la tierra, con la excepción de la Antártica. A pesar de que los escorpiones no se limitan a las regiones desérticas, por lo general son un elemento importante de la fauna en estas áreas y se encuentran entre las pocas especies que persisten en hábitats calientes y secos. Algunas especies pueden ser exclusivas de cuevas (troglóbias); otras pueden ser encontradas en cuevas al igual que en otros hábitats (troglófilos) y en algunos casos muestran grandes adaptaciones a su medio, (cambios en la pigmentación, pérdida total o parcial de ojos, reducción o aumento en tamaño, etc.). Los alacranes que viven en madrigueras (fosoriales), por su condición de cavadores, dependen de la granulometría y humedad del suelo, factores que a su vez están asociados a diferentes tipos de clima y vegetación (Polis 1990).

Un elemento llamativo de la fauna de escorpiones en las regiones calientes y secas, es la combinación de las adaptaciones etológicas, morfológicas y fisiológicas a las difíciles condiciones en estos hábitats. La más importante de las adaptaciones de comportamiento es la explotación de los hábitos de excavación y nocturnos que ofrecen un escape temporal de temperaturas extremas durante el día y la desecación de aire en la superficie. La protección contra altas temperaturas por madriguera es evidente. Estudios de comportamiento indican que los escorpiones son capaces de regular su temperatura a través de los movimientos verticales dentro de la madriguera (Hadley 1970). En el género *Hadrurus* Thorell, las ocho especies que lo comprenden son de hábitos fosoriales y raramente vagan lejos de la entrada de su madriguera. En consecuencia, estos

escorpiones eran relativamente raros en colecciones antes de que la luz ultravioleta se utilizara como técnica de colecta (Polis 1990, Sissom et al. 1990).

Las madrigueras de los escorpiones en general están conformadas de forma similar, encontrando especies con madrigueras que presentan un túmulo en la región de la entrada y otras en las cuales se pueden diferenciar dos túmulos que dan la apariencia de rodear la entrada como el caso de *Cheloctonus jonesii* (Pocock, 1892), seguidos de un túnel que en ocasiones se puede prolongar tomando forma espiralada. En la parte final de la madriguera se localiza la denominada “cámara terminal” la cual es la porción más amplia de la madriguera. Por su hábito excavador muchas especies presentan modificaciones estructurales que les proporcionan mayor ventaja al momento de la excavación. Algunas modificaciones morfológicas que acompañan el hábito de excavar madrigueras profundas se observan en los miembros de los géneros *Scorpio* L. y *Opisthophthalmus* C. L. Koch como son los pedipalpos grandes y voluminosos, lo que disminuye su gasto de energía al cavar y en consecuencia proporciona un mayor rendimiento (Harington 1978); pero también hay excepciones a esta tendencia general que pueden reflejar el papel de los pedipalpos en la captura de presas, el comportamiento de cortejo y funciones defensivas, dejando la excavación en un nivel menor. Por ejemplo, Williams (1966) menciona pedipalpos pequeños y delgados se encuentran en dos especies que habitan en madrigueras, *Vaejovis confusus* y *V. spinigerus*, que al igual que otras especies excavadoras como *Anuroctonus phaiodactylus* (Wood 1863) aparentemente usan sus quelíceros y patas además de los pedipalpos en la construcción de la madriguera.

## Materiales y Métodos

### Localización del Área

El estudio fue desarrollado en el “Cerro La Coronilla” ubicado a 3.4 km al NW de Ahuehuepan, municipio de Tepecoacuilco de Trujano, en el estado de Guerrero, México; geográficamente ubicado en latitud  $18^{\circ}00' 57''$  N y longitud  $99^{\circ} 31' 32''$  W (Figura 1) a una altitud de 857 msnm. El clima de la región es cálido subhúmedo e isotermal (AWo (W) (i) g) de acuerdo con García (1981); con vegetación de bosque tropical caducifolio (Rzedowski 1978). La localidad se seleccionó tomando como referencia la región de Mezcala, en donde se tienen registros previos de poblaciones de *Hadrurus gertschi* (Beutelspacher 2000; Fet et al. 2000).

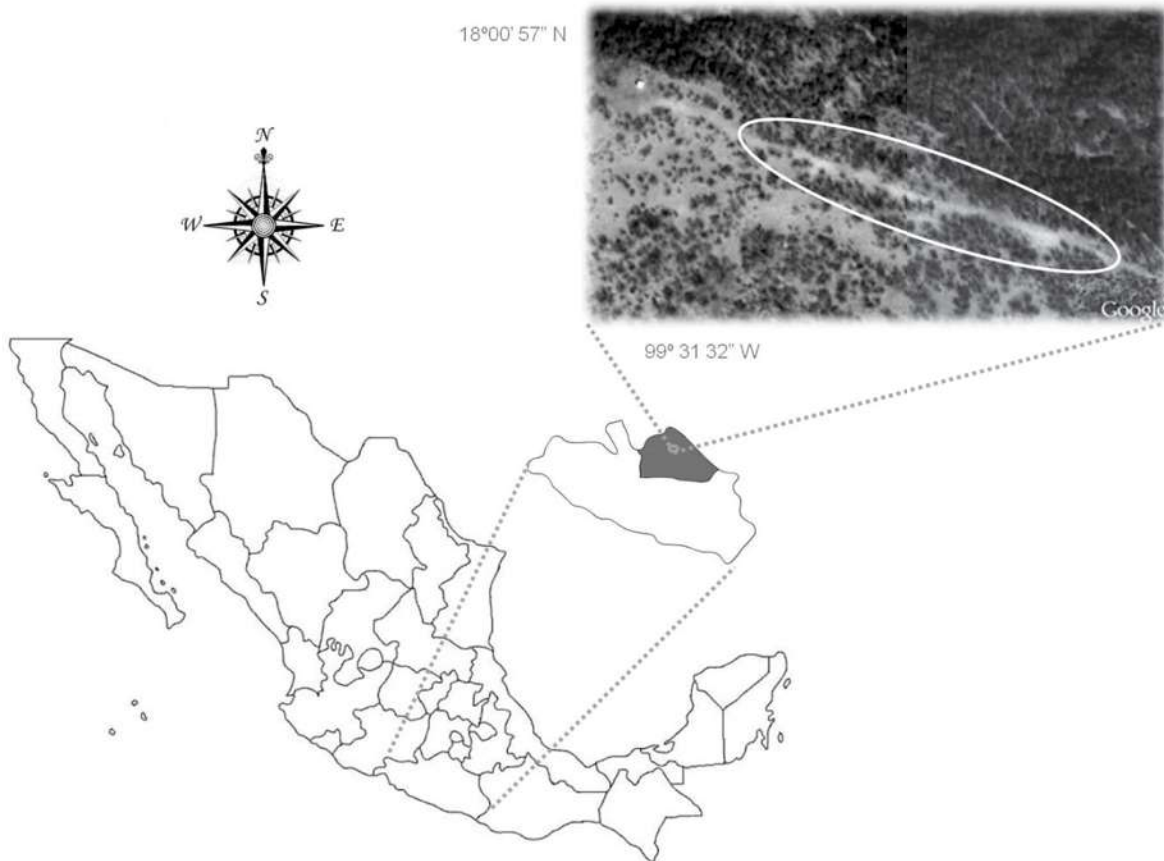


Figura 1. Ubicación del Área de estudio. Cerro “La Coronilla”, Ahuehuepan, Mpio. de Tepecoacuilco de Trujano, Edo. de Guerrero, México.

## Trabajo de Campo

Se delimitaron dos cuadrantes de 400 m<sup>2</sup>, uno con exposición Norte y otro con exposición Sur, para evaluar un posible efecto de ladera (Auslander et al. 2003). Se realizaron muestreos nocturnos mensuales utilizando lámparas de luz negra de aprox. 300 nm de longitud de onda para la detección de los alacranes y se etiquetaron cada una de las madrigueras en que se detectó un animal. De los animales detectados, se procuró su captura para obtener las medidas morfométricas básicas y las de la entrada de sus madrigueras. De la entrada de la madriguera se tomaron la anchura máxima (ANCHO\_MAX) y la altura en la parte media (ALT\_MED) (Figura 2). Todas las mediciones de campo fueron tomadas con un Vernier con 0.1 mm de precisión.

Las madrigueras fueron registradas como “inactivas” cuando no se observaba evidencia o rastro de la entrada, cuando la entrada fue bloqueada o la madriguera se encontró habitada por arañas u hormigas (Figura 3a); mientras que “activas” se empleó para las madrigueras que mostraban la entrada limpia, con un “túmulo” bien construido y con evidencia de actividad reciente (Figura 3b).

De las madrigueras detectadas como “activas” se seleccionaron algunas usando como criterio la anchura máxima de la entrada, agrupadas en principio en tres categorías: a) pequeños, b) intermedios y c) grandes, con base en la frecuencia de tamaños que se detectaron al medirlas.

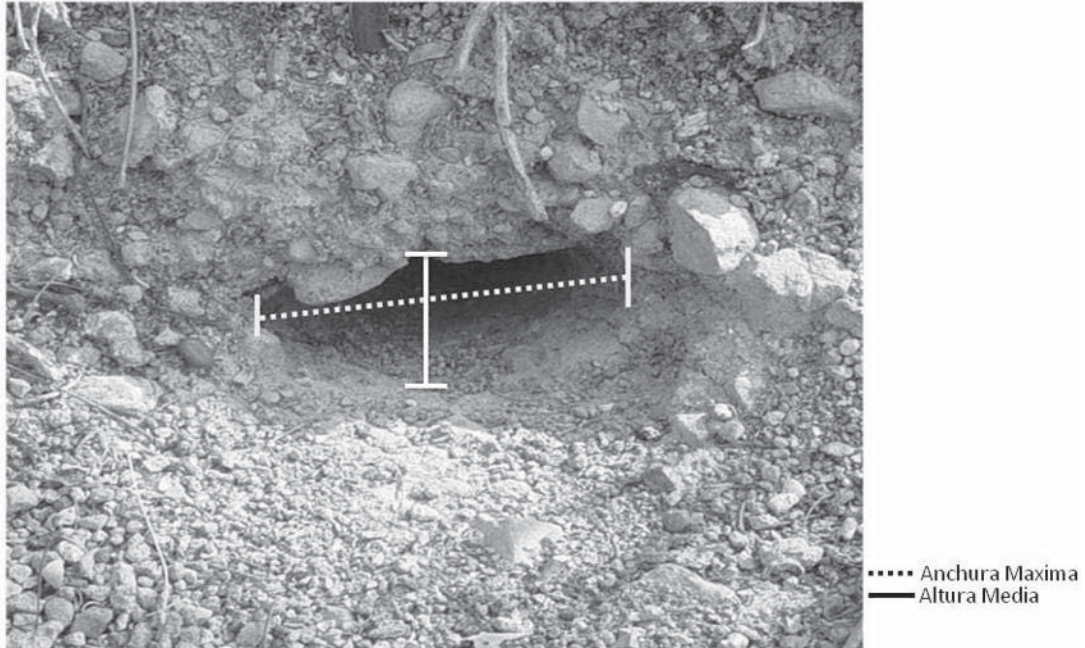


Figura 2. Medidas tomadas a la entrada de cada madriguera.

Las madrigueras seleccionadas se excavaron para caracterizarlas, capturando y sacrificando al animal ahí encontrado. Para no perder la madriguera durante la excavación, se utilizó alambre suficientemente flexible y resistente para introducirlo en la madriguera y harina para dejar rastro en el túnel durante el proceso, facilitando el avance de la excavación hasta llegar a la cámara terminal. De cada madriguera se midió anchura máxima y altura en la parte media de la entrada; la longitud total del túnel, profundidad máxima, número y longitud de las secciones del túnel. Se registró la forma general de la madriguera elaborando esquemas (Figura 4) y se tomaron fotografías (Figura 5).



Figura 3. Madriguera de *Hadrurus gertschi*, a) entrada de la madriguera tapada (“inactiva”); b) madriguera con túmulo bien definido (“activa”).

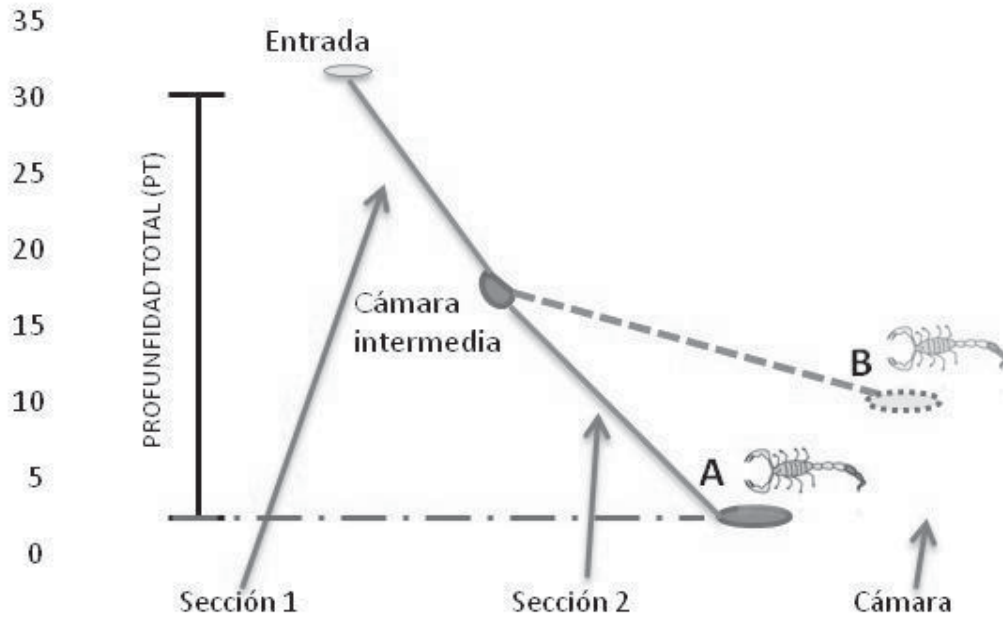


Figura 4. Esquema elaborado con base en la excavación de madrigueras. A) Patrón de madrigueras que tienden a ser verticales y B) Madrigueras que son más inclinadas a la horizontal.

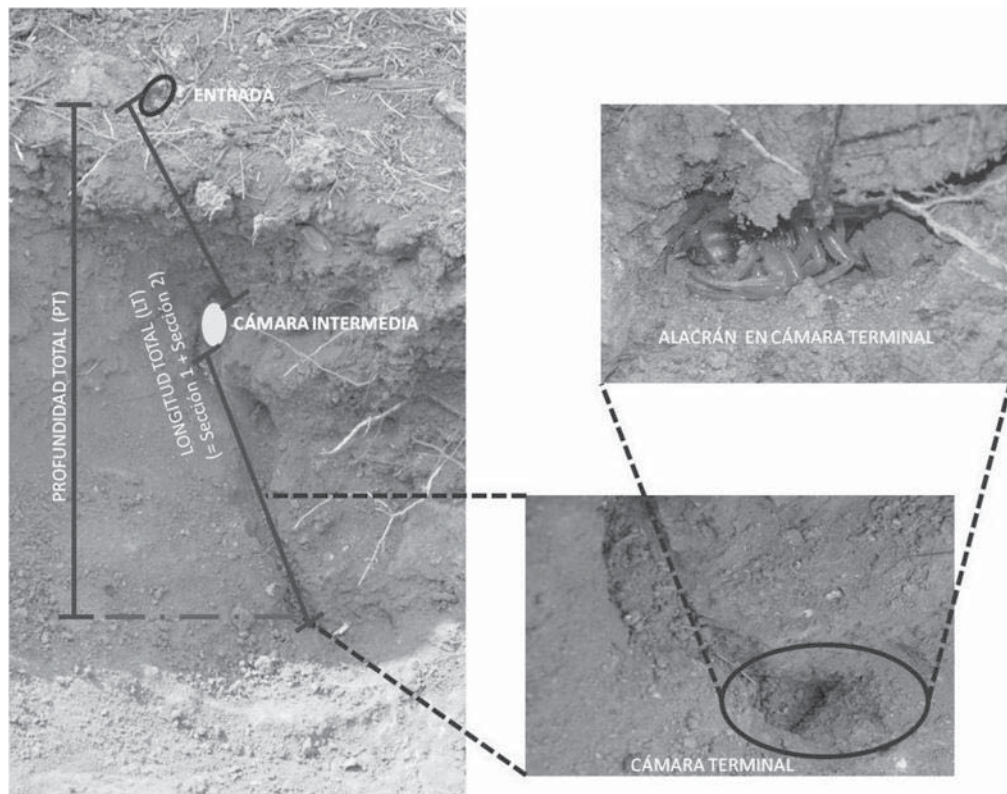


Figura 5. Foto de la excavación de una madriguera de hembra adulta de *Hadrurus gertschi*.



## **Análisis de datos**

Todos los análisis se hicieron en el paquete estadístico JMP v. 6.0 de SAS Institute (2005).

### **Entradas de las madrigueras**

Por medio de un diagrama de tallo y hoja se hizo una categorización de los entradas de las madrigueras en las que se capturó y midió el alacrán que les habitaba (n= 95), considerando la anchura máxima (ANCH\_MAX) y la altura media (ALT\_MED) de las entradas, con la finalidad de estimar el número de categorías que pudiera haber en campo y posteriormente, comparar con el número de estadios identificados en el ciclo de vida de *H. gertschi* (Quijano et al. enviado).

Posteriormente se hizo un Análisis de Correlación Lineal para determinar si los datos de la anchura máxima y la altura media de las entradas de las madrigueras, en relación con la longitud del caparazón cefalotorácico (LCTX), podrían ser utilizados para establecer la edad del alacrán que allí habita y definir la estructura poblacional de *H. gertschi*. Si esto es posible, entonces podrán hacerse estimaciones de densidad por etapa fenológica en el campo, sin necesidad de extraer a los animales de sus madrigueras ni sacrificarlos.

También se aplicó un ANOVA para las medidas de anchura máxima de la madriguera tomadas en campo a los animales de diferentes edades y un Análisis Discriminante Canónico con las entradas de la madriguera y las longitudes de cefalotórax, para establecer si ambas medidas permiten clasificar una madriguera en una edad determinada.

### **Exposición y caracterización de madrigueras**

Se hizo un Anova para comparar la profundidad total de las madrigueras y la exposición a la cual estas se encontraban, considerando las laderas Norte y Sur

(n=42) en busca de alguna tendencia. Posterior e independientemente del resultado anterior se analizó la posible relación entre la profundidad total de la madriguera y la anchura máxima de la entrada y posteriormente con la longitud cefalotorácica del alacrán mediante un Análisis de Correlación Lineal.

Con los datos de las madrigueras excavadas (n=42) se hizo la caracterización de las mismas, considerando las siguientes medidas: anchura máxima de la entrada, profundidad total, longitud total (considerando las partes que se identificaron como secciones) y la cámara terminal (denominada así la parte final de la madriguera y que se reconoce por el ensanchamiento de la última sección para dar cabida al animal en reposo). Para determinar si las madrigueras presentan algún patrón en particular dependiendo del estadio del alacrán que la habita, se compararon madrigueras de de las que se extrajeron animales de diferentes edades.

### **Análisis de “Túmulo”**

En el laboratorio y con ayuda de un microscopio estereoscópico marca Stemi DV4, se revisaron 9 muestras de los túmulos encontrados en la entrada de las madrigueras activas y con túmulo reciente dentro de los cuadrantes, con la finalidad de conocer la composición del mismo en términos cualitativos.

## Resultados

### Entradas de las madrigueras

Al revisar la distribución de los datos de las dos variables medidas, se decidió utilizar sólo la anchura máxima, ya que la altura media de la entrada fue mucho más homogénea entre edades y por tanto menos informativa y útil para determinar la etapa fenológica del alacrán. Se obtuvieron seis categorías de frecuencia, una menos que el número de estadios identificados en el ciclo de vida de *H. gertschi* (Figura 6).

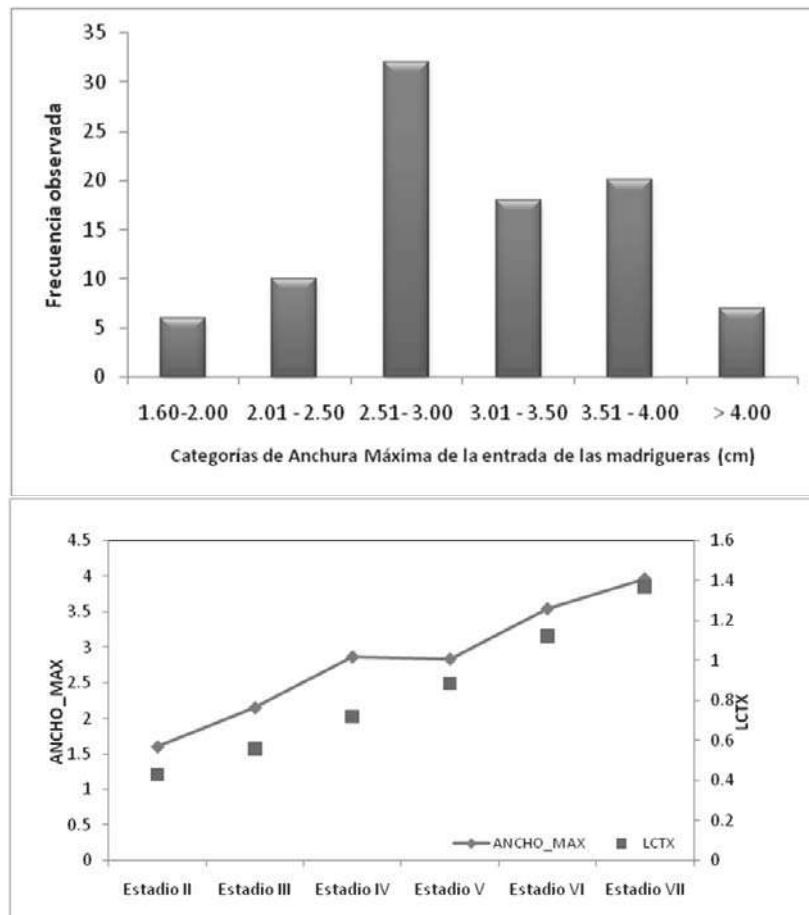


Figura 6. Frecuencias observadas de las seis categorías de anchura máxima de la entrada de las madrigueras observadas en campo (arriba); y la relación de sus valores promedio con respecto al promedio de la longitud del caparazón cefalotorácico de los estadios determinados (abajo).

Con el Análisis de Correlación Lineal entre la anchura máxima de la entrada de la madriguera y el tamaño del animal que la habita (n=95), se obtuvo un coeficiente de correlación de 73.32 % ( $r^2 = 0.5375$ ) que resultó altamente significativo ( $p < 0.001$  de acuerdo con el ANOVA de la regresión) (Figura 7) y un coeficiente menor ( $r=38.8\%$ ;  $r^2= 0.1507$ ), pero también significativo ( $p < 0.05$ ) para la altura media de la madriguera.

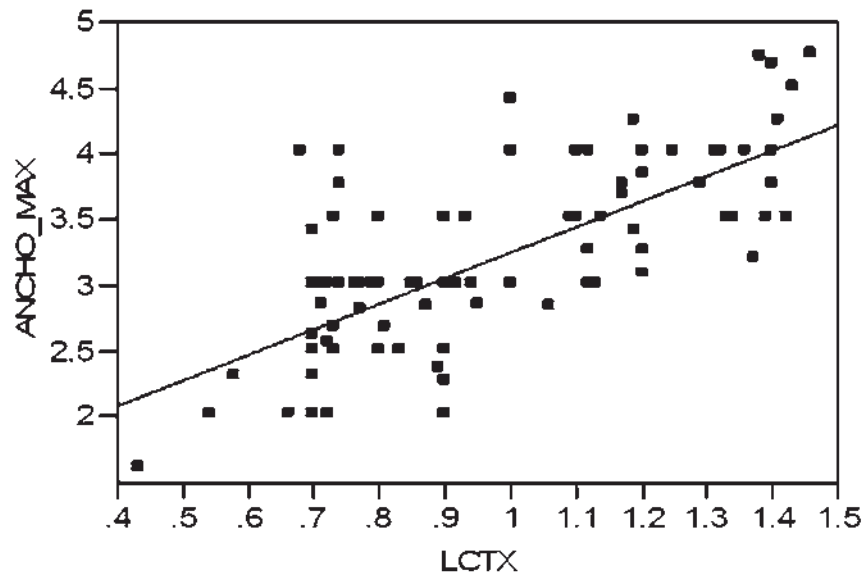


Figura 7. Línea de Regresión entre la longitud del cefalotórax del animal (LCTX) y la anchura máxima de la madriguera (ANCHO\_MAX) (n=95;  $r^2= 0.5375$ ).

Con el Análisis Discriminante Canónico se obtuvo buena clasificación para los estadios IV al adulto, manteniéndose confundidos los estadios II y III por efecto de la anchura máxima de la abertura de la madriguera. El nivel de malas clasificaciones es de 3.16% que incluye 2 datos de edades V que según el modelo corresponderían a edad VI y un alacrán de edad IV que debería haberse ubicado en edad V (Figura 8, Tabla 1). Se pudo apreciar también que el Eje Canónico 1 en el que se ubica la longitud del caparazón cefalotorácico, es el que explica casi en su totalidad la clasificación obtenida al mantener el 99.6 % de la variación. Las cuatro pruebas estadísticas aplicadas (Wilks' Lambda, Pillai's Trace, Hotelling-Lawley y Roy's Max Root) para la significancia de la clasificación usando las dos variables medidas fueron altamente significativas ( $p < 0.0001$ ).

Tabla 1. Matriz de confusión entre los estadios observados y las predicciones con el modelo de Análisis Canónico Discriminante (3.16% de malas clasificaciones)

	Estadio II	Estadio III	Estadio IV	Estadio V	Estadio VI	ADULTO
Estadio II	1	0	0	0	0	0
Estadio III	0	2	0	0	0	0
Estadio IV	0	0	27	0	0	0
<b>Estadio V</b>	0	0	<b>1</b>	21	0	0
<b>Estadio VI</b>	0	0	0	<b>2</b>	22	0
ADULTO	0	0	0	0	0	19

En negritas se resaltan las malas clasificaciones según el modelo.

### Exposición y caracterización de madrigueras

Los resultados del Anova indican que no existe ningún patrón en cuanto a la profundidad total de la madriguera con respecto a la edad del alacrán ni con la exposición que la entrada de la madriguera presente. Las diferencias observadas se deben al estadio del animal (Tablas 2 y 3).

Tabla 2. Anova realizado entre la orientación (exposición) de las madrigueras y estadio del alacrán con la profundidad total y longitud total de la misma

PROFUNDIDAD TOTAL			LONGITUD TOTAL		
Ladera / Estadio	Promedio ± SD	Tukey (.05)	Ladera / Estadio	Promedio ± SD	Tukey (.05)
	42.50				
Norte VI	(±10.61)	A	Sur AD	70.00*	A
	42.00				
Sur VI	(±10.83)	A	Norte V	62.00 (±16.97)	A
Norte AD	36.00*	AB	Sur VI	56.58 (±11.88)	A
Norte V	28.50 (±6.36)	AB	Norte VI	54.00 (±26.87)	AB
Sur AD	28.00*	AB	Sur IV	54.00*	AB
Sur III	27.00*	AB	Norte AD	45.00*	AB
Norte IV	26.00*	AB	Sur III	25.00*	AB
Norte III	18.50 (±0.71)	AB	Norte IV	25.00*	AB
Sur IV	16.00*	AB	Sur II	23.00 (±9.90)	AB
Norte II	15.67 (±3.93)	B	Norte III	20.50 (±0.71)	AB
Sur II	14.00*	B	Norte II	16.67 (±3.14)	B

\* Solo un dato disponible

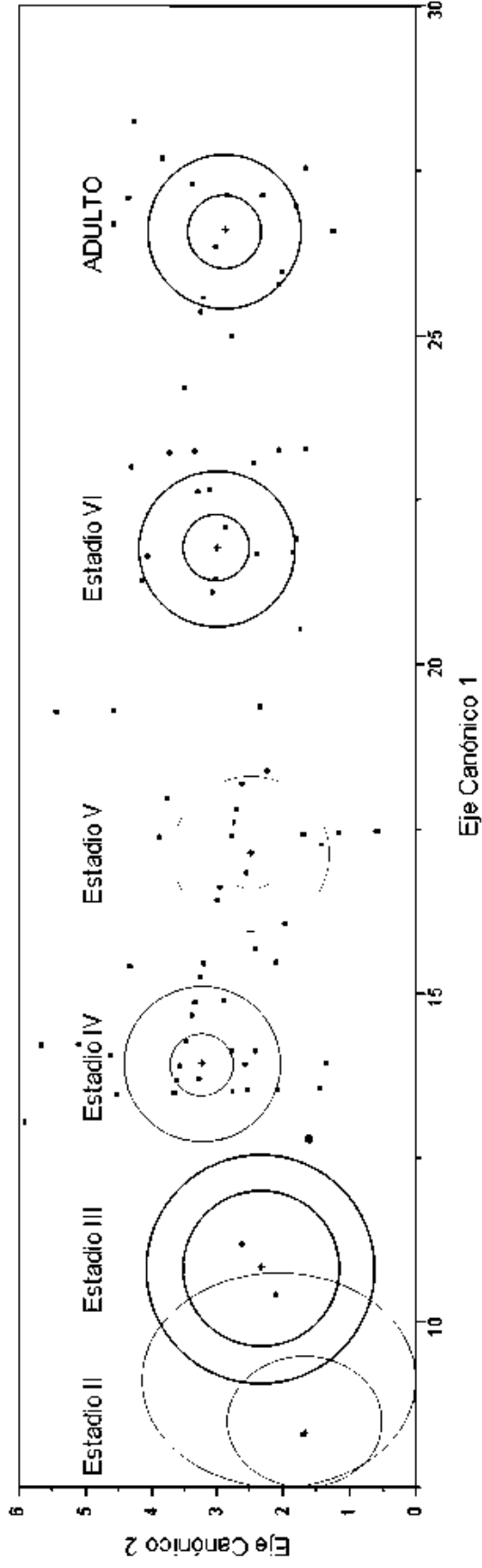


Figura 8. Análisis Discriminante Canónico realizado con las asignaciones de las madrigueras de *Hadrurus gertschi*. (Porcentaje de malas clasificaciones=3.158; n=95). Los círculos internos representan los límites de confianza para las asignaciones y los externos la región de probabilidad donde el 50% de los puntos de ese nivel se ubicarían.

Tabla 3. Anova realizado con la profundidad total y longitud total de las madrigueras sin considerar la exposición

PROFUNDIDAD TOTAL			LONGITUD TOTAL		
Estadio del alacrán	Promedio $\pm$ SD	Tukey (.05)	Estadio del alacrán	Promedio $\pm$ SD	Tukey (.05)
Estadio VI	42.13 ( $\pm$ 9.99)	A	Estadio V	62.00 ( $\pm$ 16.97)	A
Adulto	32.00 ( $\pm$ 5.66)	AB	Adulto	57.50 ( $\pm$ 17.68)	A
Estadio V	28.50 ( $\pm$ 6.36)	AB	Estadio VI	55.94 ( $\pm$ 14.65)	A
Estadio III	21.33 ( $\pm$ 6.66)	B	Estadio IV	39.50 ( $\pm$ 20.51)	AB
Estadio IV	21.00 ( $\pm$ 7.07)	B	Estadio III	22.00 ( $\pm$ 2.65)	B
Estadio II	15.25 ( $\pm$ 3.41)	B	Estadio II	18.25 ( $\pm$ 5.44)	B

Sabiendo que la exposición no presenta influencia en cuanto a la profundidad ni la longitud de las madrigueras, se procedió a realizar otro análisis en el cual se relacionó la anchura máxima de la entrada de la madriguera (ANCHO\_MAX) con la edad del animal representada por la longitud del caparazón cefalotorácico (LCTX) y luego con respecto a la profundidad total (PT) (Figura 9) y Longitud Total (LT) de la misma mediante modelos de Regresión Lineal (Figura 10).

Se dividió el análisis para revisar las madrigueras a las que sólo se les encontró un túnel formado por una sección continua desde la entrada hasta la cámara terminal (n=14) y las que presentaron dos secciones desde la entrada hasta la cámara terminal (n=27), siendo la segunda sección la que se encontró formando un ángulo con respecto a la primera (Figura 4) e incluso llegando a formar una madriguera en espiral (Tabla 4).

En las madrigueras con una sección, la profundidad total es respuesta principalmente de la edad del animal (representada por la longitud del caparazón cefalotorácico) ( $r^2=0.4244$ ) mientras que la longitud total tiene una correlación más directa con la anchura máxima de la entrada de la madriguera (ANCHO\_MAX), ( $r^2 = 0.5235$ ) ambas con  $p<0.001$ .

En las madrigueras con túnel de dos secciones, la profundidad total y la longitud total tienen una correlación lineal significativa ( $r^2 = 0.3960, 0.3700$ ) ( $p<0.05$ )

con LCTX; mientras que la sección 1 no tuvo correlación significativa con la edad del animal pero la segunda sección sí tuvo una correlación positiva ( $r= 0.3699$ ) y altamente significativa con la longitud del caparazón cefalotorácico ( $p<0.001$ ).

Tabla 4. Medidas tomadas a las madrigueras excavadas

<b>Con dos secciones</b>	<b>ML</b>	<b>MA</b>	<b>PT</b>	<b>SECCIÓN 1</b>	<b>SECCIÓN 2</b>	<b>LT</b>
Promedio	3.30	2.24	32.48	17.92	25.66	44.56
SD	0.88	0.74	9.72	7.61	10.98	14.58
Max	5.50	3.70	56.00	40.00	46.00	74.00
Min	2.00	0.70	13.00	5.00	4.00	17.00
n	26	25	27	26	26	27

<b>Con una sola sección</b>	<b>ML</b>	<b>MA</b>	<b>PT</b>	<b>LT</b>
Promedio	2.54	1.69	23.82	32.54
SD	0.95	0.82	12.08	22.12
Max	4.00	3.80	50.00	70.00
Min	1.50	1.00	10.00	11.00
n	14	14	14	14

ML= Anchura máxima de la entrada de la madriguera      MA= Altura media de la entrada de la madriguera

PT= Profundidad total (medida desde el nivel superficial de la entrada en línea vertical hasta el fondo de la cámara terminal)      SECCIÓN= Longitud de las secciones que conforman la madriguera

LT= Longitud total de la madriguera, (midiendo de la entrada de la madriguera hasta la cámara terminal).



Tabla 5. Valores promedio de las medidas tomadas a las madrigueras

	<b>ML</b>	<b>MA</b>	<b>PT</b>	<b>LT</b>
<b>INSTAR II</b>				
Promedio	1.93	1.08	16.00	23.37
SD	0.23	0.21	3.96	12.72
Max	2.30	1.40	21.00	37.50
Min	1.50	0.70	10.00	13.00
n	8	8	8	
<b>INSTAR III</b>				
Promedio	2.13	1.45	19.00	31.50
SD	0.25	0.42	7.16	14.85
Max	2.50	2.00	27.00	42.00
Min	2.00	1.00	12.00	21.00
n	4	4	4	
<b>INSTAR IV</b>				
Promedio	2.60	1.80	25.50	25.80
SD	0.57	0.28	13.44	0.00
Max	3.00	2.00	35.00	25.80
Min	2.20	1.60	16.00	25.80
n	2	2	2	
<b>INSTAR V</b>				
Promedio	3.20	1.75	28.50	42.00
SD	0.28	0.35	6.36	25.46
Max	3.40	2.00	33.00	50.00
Min	3.00	1.50	24.00	44.00
n	2	2	2	
<b>INSTAR VI</b>				
Promedio	3.63	2.32	40.67	48.38
SD	0.54	0.49	11.48	6.96
Max	4.50	3.20	56.00	54.50
Min	3.00	1.80	23.00	38.70
n	6	6	6	
<b>ADULTO</b>				
Promedio	4.50	2.93	34.00	53.00
SD	0.87	0.51	5.29	11.31
Max	5.50	3.50	38.00	61.00
Min	4.00	2.50	28.00	45.00
n	3	3	3	3

ML= Anchura máxima de la entrada de la madriguera

MA= Altura media de la entrada de la madriguera

PT= Profundidad total (medida desde el nivel superficial de la entrada en línea vertical hasta el fondo de la cámara terminal)

LT= Longitud total de la madriguera, (midiendo de la entrada a la cámara terminal).

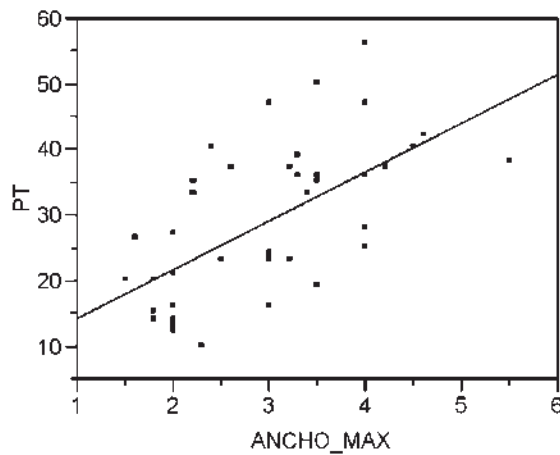


Figura 9. Línea de Regresión entre el anchura máxima de la entrada de la madriguera y la profundidad total de la misma (n=41;  $r^2=0.3893$ ).

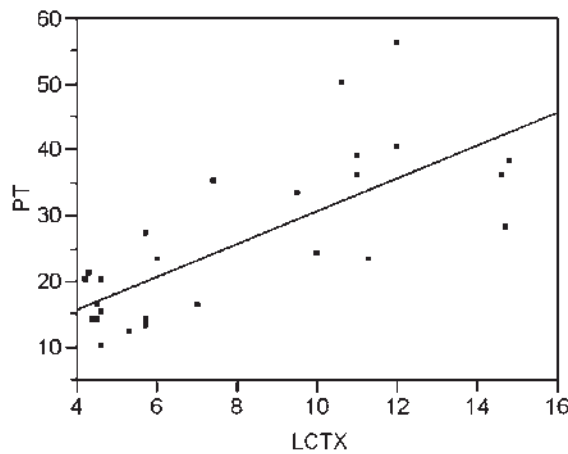


Figura 10. Línea de Regresión entre la longitud del caparazón cefalotorácico del alacrán y la profundidad total de la madriguera (n=41;  $r^2= 0.5521$ ).

### Análisis de “Túmulo”

De las 9 muestras de los túmulos analizados, 6 contenían partes de la exuvia del alacrán, de los cuales de 3 correspondieron a ejemplares que se pudieron medir, lo que permitió constatar la correlación entre el crecimiento del animal y el factor de crecimiento previamente determinado para esta especie (Quijano et al. enviado), así como la utilidad de las estructuras utilizadas (tabla 6). En 6 túmulos se encontraron partes de insectos ingeridos por el alacrán (Figura 11). Algunas de las estructuras

que se pudieron determinar pertenecen a hormigas, escarabajos y otros insectos no identificados ya que las estructuras no lo permitieron.

Tabla 6. Medidas de las estructuras encontradas en los túmulos (muda) y las medidas de los ejemplares ahí encontrados (n=3).

	<b>LCTX</b>	<b>SCV</b>	<b>QLA</b>
MUDA 1	1.15		
EJEMPLAR 1	1.46		
<b>FC</b>	<b>1.27</b>		
MUDA 2		0.80	1.12
EJEMPLAR 2		1.00	1.46
<b>FC</b>		<b>1.25</b>	<b>1.30</b>
MUDA 3	0.71	0.58	1.00
EJEMPLAR 3	0.90	0.75	1.30
<b>FC</b>	<b>1.27</b>	<b>1.29</b>	<b>1.30</b>

FC= factor de crecimiento estimado con las estructuras medidas



Figura 11. Restos de insectos encontrados en las muestras de "túmulos".

## Discusión

### Utilidad de las entradas de las madrigueras

Se obtuvieron 7 categorías de tamaño de *H. gertschi* y 6 de madrigueras, lo cual nos indica que aparentemente al menos un estadio mantiene su madriguera del mismo tamaño, lo que corresponde a los dos primeros estadios si consideramos la posibilidad de que el estadio 1 no tenga necesidad de cavar su propia madriguera ya que se encuentra aún sobre el dorso de su madre y no necesitaría de una madriguera propia para refugiarse, considerando esto habría coincidencia entre las categorías de tamaños observados en las madrigueras y los tamaños observados en la muestra de alacranes revisada. Esto es coincidente con el hecho de que se registraron en campo individuos del estadio II iniciando la excavación de sus propias madrigueras, como parte del proceso de dispersión de la especie.

Entre la longitud del caparazón cefalotorácico y la anchura máxima de la madriguera existe una correlación alta ( $r^2=0.5375$ ), con esto podemos concluir que entre mayor sea la anchura de la entrada de la madriguera, mayor será la profundidad de la misma. Esto es esperable ya que al complementar con el análisis entre la anchura máxima de la madriguera y la longitud total también hay una alta relación entre estas dos variables ( $r^2=0.6071$ ); es decir que los alacranes van agrandando su madriguera conforme crecen, así las madrigueras más grandes estarán habitadas por estadio adulto o subadulto y la profundidad de estas madrigueras será mayor que la de los estadios más pequeños. Sin embargo en los estadios más pequeños la entrada de la madriguera no será suficiente para saber la edad del animal que la habita ya que con el análisis Discriminante Canónico se obtuvo buena clasificación para los estadios IV al adulto, pero se mantuvieron confundidos los estadios II y III por efecto de la anchura máxima de la abertura de la madriguera.

## Exposición y caracterización de madrigueras

El análisis entre la profundidad de la madriguera con respecto a la exposición en la que se encuentra indica que no tienen relación aparente, lo cual sugiere que los alacranes tienen un modo de evitar las altas temperaturas de la parte superficial de las madrigueras moviéndose hacia la parte más profunda durante las horas de mayor temperatura, sin que haya una relación directa con la exposición, la cual genera diferencias en humedad y temperatura (Auslander et al. 2003) pero que a nivel de microhábitat, en el interior de las madrigueras tienen un efecto mínimo.

Las madrigueras de *Hadrurus gertschi*, están conformadas por una entrada con un túmulo bien diferenciado (cuando se encuentra activa), seguido por uno o dos túneles, los cuales en ocasiones pueden estar orientados hacia el lado derecho dando la impresión de formar un espiral, el cual es característico para los adultos de esta especie, ya que en los estadios menores presentaron en su mayoría un solo segmento recto, el cual está seguido por la cámara terminal, que es la parte donde el alacrán se alimenta y en el caso de las hembras cuida a sus crías, las cuales permanecen en la madriguera materna hasta después de la primera muda, cuando la capa cerosa de la cutícula reduce la pérdida de agua, ya están bien esclerosados y pueden alimentarse por sí mismos (Polis 1990).

La mayoría de los escorpiones fosoriales cavan madrigueras que son moderadamente inclinadas y horizontales (Newlands 1969 en White 2001) como es el caso de *Hadrurus gertschi*, no es el caso de *C. jonesii* y *Diplocentrus peloncillensis* (Francke 1975) quienes habitan madrigueras verticales. Se ha explicado la ventaja de una madriguera vertical en función de posibles inundaciones ya que en una madriguera inclinada las inundaciones y deposición de material cerca de la entrada de la madriguera, fácilmente podría atrapar al alacrán y llevarlo a la asfixia, mientras que en una madriguera vertical al ser inundada, permite el fácil escape del alacrán al escurrir los sedimentos por los costados de la madriguera y elevar el piso del túnel.

Harington (1978) reporta que las madrigueras de *C. jonesii* se encuentra generalmente en la base de hierbas gruesas, en *Hadrurus gerstchi* las madrigueras generalmente se encuentran en espacios abiertos, en lugares planos (sin pendiente) y laderas con diferentes pendientes; aunque pueden estar cerca de algún arbusto o una piedra grande, no se encontró ningún patrón de asociación con alguno de estos microhábitats; sino más bien la ubicación generalizada fue en espacios abiertos. La entrada de la madriguera de *C. jonesii* presenta dos túmulos en la entrada, el primero se ve generalmente en un lado de la entrada de la madriguera solamente, mientras que en el segundo se extiende radialmente desde la entrada (Harington 1978) a diferencia de *H. gerstchi* en el que la entrada presenta únicamente un túmulo bien diferenciado (cuando se encuentra activo) en la parte frontal de la entrada. Para *C. jonesii* la madriguera es un túnel simple con una entrada rectangular, penetrando en el suelo a unos 70°-90° respecto a la horizontal, y su diámetro aumenta alrededor de un tercio del camino hacia abajo a una anchura de aproximadamente el doble de la entrada (Harington 1978); en *H. gertschi* la primera sección del túnel tiene características similares solo que no hay una diferencia tan grande entre la parte anterior del túnel y la parte baja del mismo, excepto en las madrigueras con dos secciones en las cuales al final de la primera sección pudo apreciarse un ensanchamiento al que llamamos “cámara intermedia” y que suponemos es la parte en la que el alacrán estando activo y al acecho de sus presas, se refugia cuando detecta un posible depredador y también le sirve para darse vuelta cuando regresa a su madriguera y entra con la cabeza por delante. White (2001) registra para la especie *Urodacus yaschenkoi* que la madriguera consiste en una entrada anterior poco profunda seguida de una sección en espiral y posteriormente por una cámara terminal de forma horizontal, como fue observado por Koch (1978) y Shorthouse y Marples (1980) y White (2001), lo cual es muy similar a lo que se encontró en este estudio en algunas de las madrigueras de *Hadrurus gertschi* con dos secciones, aunque también se observaron madrigueras con la segunda sección mucho más vertical (Figuras 4 y 5).

La conclusión principal de este trabajo es que el alacrán va agrandando su madriguera conforme a su crecimiento; el alacrán grande vive en hoyo grande que corresponde a madrigueras más largas y profundas y un alacrán chico vive en hoyo chico (se gasta energía en hacer un hoyo, y la energía es la principal limitante). Con base a las medidas tomadas es posible afirmar que la longitud total de las madrigueras aumenta con el crecimiento del animal (=longitud del carapacho); la profundidad se incrementa con cada muda y el ancho máximo de la entrada aumenta en relación directa al crecimiento del animal.

### **Análisis de “Túmulo”**

De los restos de estructuras que se separaron del túmulo de las madrigueras de *Hadrurus gertschi*, se identificaron exuvias del alacrán que la habita, así como estructuras de presas, entre las que se pudieron identificar hormigas, escarabajos y otros insectos no determinados. Sin embargo, también se observó en campo que las palomillas forman parte de la dieta de esta especie. Harington (1978) registra en los túmulos para la especie *Cheloctonus jonesii* (Pocock, 1892), restos de exuvia, presas, y detritus vegetales. La composición de los túmulos de *Hadrurus gertschi* es similar a lo reportado por Harington (1978) para *C. jonesii*, lo que muestra la evidencia de las operaciones de mantenimiento de la madriguera, la cual es más evidente poco después de las lluvias, lo que puede deberse a las inundaciones y la posterior deposición de suelo en las madrigueras. Los restos de exuvias se encuentran en madrigueras recientemente reabiertas, ya que el animal tapa las entradas durante un tiempo durante el cual ocurre la muda, protegiéndose de esta manera en esta etapa de su ciclo vital en la que es muy vulnerable.

## **Agradecimientos**

Los autores desean agradecer a la Coordinación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y la Colección Nacional de Arácnidos del Instituto de Biología de la Universidad Autónoma de México por el apoyo para el trabajo de campo. Dicho trabajo fue realizado bajo el amparo de la Licencia de Colector Científico (FAUT.0175) otorgado por la SEMARNAT al Dr. O. Francke. Se agradece también el apoyo en el trabajo de campo a Ulises Torres, Carlos Santibáñez, Alejandro Valdés, Héctor Montaña, Tania Palafox y Víctor Guzmán.

La primera autora desea agradecer a Conacyt por el apoyo financiero otorgado a través de la beca asignada para la realización de estudios de Maestría.



## Literatura citada

- Auslander, M., E. Nevo y M. Inbar. 2003. The effect of slope orientation on plant growth, developmental instability and susceptibility to herbivores. *Journal of Arid Environments* 55: 405-416.
- Beutelspacher, B. C. R. 2000. Catálogo de los Alacranes de México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. 175 p.
- Fet, V., W. D. Sissom, G. Lowe y M. E. Braunwalder. 2000. *Catalog of the Scorpions of the World (1758-1998)*. New York Entomological Society. New York, USA. 690 pp.
- García, E. 1981. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. *Inst. Geog. UNAM*. 252 pp.
- Hadley, N. F. 1970. Water relations of the desert scorpions, *Hadrurus arizonensis*. *Journal of Experimental Biology*. 53: 547-558
- Harrington, A . 1978 . Burrowing biology of the scorpion *Cheloctonus jonesii* Pocock (Scorpionida, Scorpionidae) . *J. Arachnol* . 5: 243-249.
- JMP v. 6.0 de SAS Institute (2005).
- Koch, L. E. (1978). A comparative study of the structure, function and adaptation to different habitats of burrows in the scorpion genus *Urodacus* (Scorpionida, Scorpionidae). *Records of the Western Australian Museum* 6, 119–146.
- Polis, G. A. 1990. Ecology. *In The Biology of Scorpions*, G. A. Polis (Ed.). Stanford University Press. Stanford, California. p. 247-293.
- Polis, G. A. y W. D. Sissom. 1990. Life History. *In The Biology of Scorpions*, G. A. Polis (ed.). Stanford University Press. Stanford, California. P. 161-223.
- Quijano-Ravell, A. F.; J. Ponce-Saavedra; O. F. Francke B. Densidad, distribución espacial y biomasa de *Hadrurus gertschi* Soleglad (Scorpiones, Iuridae) en una localidad de Guerrero, México. *Revista Ibérica de Aracnología*. Enviado.
- Rzedowski, J. 1978. *La vegetación de México*. Ed. Limusa. México., 432 pp.
- Sissom, W. D., G. A. Polis y D. D. Watt. 1990. Field and Laboratory methods. En: Polis, G. A (Ed.). *The Biology of Scorpions*. Stanford University Press. Stanford, California. pp. 445-461.

- Shorthouse, D. J. y Marples, T. G. 1982. Observations on the Burrow and Associated Behaviour of the Arid-Zone Scorpion *Urodacus yaschenkoi* (Birula). *Aust. J. Zool.* 28, 581-90.
- Warburg, M. R. y G. A. Polis. 1990. Behavioral Responses, Rhythms, and Activity Patterns. *In* *The Biology of Scorpions*, G. A. Polis (ed.). Stanford University Press. Stanford, California. P. 224-246.
- Williams, S. C. 1966. Burrowing activities of the scorpions *Anuroctonus phaeodactylus* (Wood) (Scorpionidae: Vaejoidea). *Proceedings of the California Academy of Sciences.* 34: 419-428.
- White, C. R. 2001. The energetics of burrow excavation by the inland robust scorpion, *Urodacus yaschenkoi* (Birula, 1903). *Australian Journal of Zoology.* 49, 663–674

## VI. DISCUSIÓN GENERAL.

### Factor de crecimiento

El factor de crecimiento que presentó mejor ajuste para *Hadrurus gertschi* fue 1.27. La variación en el comportamiento del factor de crecimiento en la patela del pedipalpo y la quela, para las que se obtuvo un factor menor (1.24) con respecto al fémur que tuvo un factor promedio de 1.26, sugiere un patrón ligeramente alométrico en el crecimiento de esta especie; situación que ya había sido registrada en otras especies de alacranes como *Uroctonus mordax* Thorell (Francke 1976), *Centruroides vittatus* (Say) y *Vaejovis bilineatus* Pocock (Sissom, 1980; Sissom y Francke, 1983), *Vaejovis coahuilae* Williams (Francke y Sissom 1984), *Pseudouroctonus reddelli* (Gertsch y Soleglad) (Brown 1997) y otras especies de *Centruroides* y *Tityus* (Lourenço 1979, 1988, 1989). En estos trabajos la tasa de crecimiento definida por Dyar no es constante para las diferentes etapas de desarrollo ni para todas las estructuras medidas, aunque en la mayoría se midió el caparazón cefalotorácico y el segmento caudal V, otros también midieron el dedo fijo de la quela del pedipalpo. Los valores observados varían desde 1.22 hasta 1.33 y sólo en algunas estructuras como el dedo fijo en *Centruroides elii* (Armas y Marcano Fondeur 1992) se obtuvo el valor de Dyar (1.26) (Rouaud et al. 2000).

Por lo anterior y con los la información generada en este trabajo, se puede suponer un crecimiento individual alométrico para esta especie, con crecimiento ligeramente menor en las estructuras del pedipalpo con respecto a las medidas somáticas, particularmente el caparazón cefalotorácico y el segmento caudal V, medidas que deberán seguir siendo usadas para establecer el factor de crecimiento ya que son las menos variables y las más confiables, en concordancia con el patrón de crecimiento observado en otras especies de alacranes en las que se tomó esta estructura como referencia y cuyos valores variaron entre 1.27 y 1.3 (Francke y Sissom 1984; Ponce 2003; Ponce y Díaz-Mora 2002).

En escorpiones en general se registra aumento de 25-35% en las dimensiones entre los estadios consecutivos (Francke 1976), así cada estructura tiene su propia

tasa de incremento (factor de crecimiento) y esto puede variar con cada muda (Sissom 1980), como sucedió con la especie en estudio. Para otras especies del género *Hadrurus* no se dispone de información para poder comparar y concluir algo con respecto a si esto ocurre sólo en *H. gertschi* o puede ser un patrón de crecimiento más generalizado.

## **Fenología**

Es interesante notar, que como en Julio del 2006, en Julio del 2008 estuvieron presentes los estadio III, V y VI más el Adulto; los tres tamaños encontrados en el muestreo inicial (2006), y que generó el interés en estudiar esta población de *H. gertschi*. Este comportamiento es peculiar, indicando la sincronización de las épocas de reproducción, nacimiento y muda, lo cual genera el traslape de generaciones.

La presencia del estadio II en pequeñas madrigueras se observó en los meses de Mayo Junio y Julio, por lo que es de suponerse que en los meses de Marzo y Abril es cuando ocurren los nacimientos y el transcurso del primer estadio dentro de la madriguera materna, por lo que es hasta la edad II en que los animalitos se dispersan e inician su propia madriguera, cuando se les puede capturar. La ecdisis ocurre dentro de las madrigueras, cuando estas se encuentran “inactivas” y su entrada se encuentra bloqueada por tierra. Al activarse nuevamente, las madrigueras presentan un “túmulo” formado en gran parte por material excavado para agrandar la madriguera, y que contiene restos de presas consumidas así como partes de la exuvia correspondiente a la edad anterior del animal que allí habita.

## **Patrón de actividad**

El presente trabajo es el segundo que se hace para establecer aspectos fenológicos de poblaciones del género *Hadrurus* y el primero con *H. gertschi*; por lo que la comparación se hace con lo obtenido para *H. arizonensis* (Williams 1968; 1969) cerca de Phoenix, Arizona.

Los animales más pequeños (estadios II) se registraron en los meses de mayo y junio, por lo que se infiere que los nacimientos y el primer estadio ocurren en los meses de marzo y abril. Williams (1968) registra que para *H. arizonensis* la mayor actividad de jóvenes del estadio II es en julio, lo cual sugiere que para *H. arizonensis* los nacimientos ocurren aparentemente en mayo-junio. *H. arizonensis* mostró periodicidad estacional definida, siendo mayor la actividad en los meses cálidos y en su totalidad o prácticamente ausente durante los meses de invierno a diferencia de lo que se registra en este trabajo en que los meses de invierno mostraron actividad importante de la población de alacranes, probablemente por efecto del clima tropical de la localidad trabajada que es mucho menos estacional que el desierto de Arizona.

Los machos adultos fueron más activos que las hembras en la superficie tanto para *H. arizonensis* (Williams, 1969) como para *H. gertschi*, de quien se hallaron machos adultos vagando en los meses de agosto y septiembre, al parecer porque es en esta época en que hacen la búsqueda de las hembras sexualmente receptivas, como lo confirman los comportamientos de cortejo observados en los meses de julio y octubre, meses en los que se ha registrado actividad de apareamiento para especies de al menos cuatro familias.

Los meses con mayor proporción de madrigueras activas fueron septiembre, octubre y diciembre, lo cual sugiere que el aumento en el patrón de actividad se debe a la disponibilidad de alimento, ya que la mayor actividad se presenta durante y después de la época de lluvias, disminuyendo sensiblemente durante el estiaje. No todos los estadios son igualmente activos, mostrando que hay una relación entre el tamaño y la actividad estacional y los adultos son claramente más activos que los jóvenes. El comportamiento de actividad por sexo con los datos de ejemplares capturados, muestra que las hembras fueron más “activas” (73%) que los machos (27%) y el número de machos se incrementó en agosto y septiembre (con algunos vagabundos), julio y octubre, pero su abundancia no fue mayor que la de las hembras, a diferencia de lo registrado por Williams (1968), quien encontró una diferencia sutil en la actividad superficial entre sexos, siendo las hembras

ligeramente más activas que los machos durante abril, mayo y junio, mientras que los machos fueron un poco más activos a mediados de agosto, septiembre y principios de octubre.

### **Ciclo de vida**

Con base en los datos del estadio II (n=30) y aplicando el factor de crecimiento 1.27 se calcularon las medidas promedio para los estadios superiores y se hizo la asignación a los alacranes capturados en el campo y una vez probada estadísticamente la concordancia con los datos de campo, se sugiere que para esta especie se requieren de 7 estadios y 6 mudas para llegar a la edad adulta, lo que cae en el rango de los registros de número de mudas que se tienen para otras familias como Buthidae (4-7), Chactidae (5-9), Ischnuridae (5-6), Scorpionidae (5-7) y Vaejovidae (5- 7) (Polis y Sissom 1990). También se determinó que no existe diferencia significativa de tamaño corporal y longitud del caparazón cefalotorácico dependiente del sexo del alacrán, a diferencia de lo que ocurre con algunas especies de la familia Buthidae (*Centruroides balsasensis*, *Centruroides limpidus*, *C. infamatus* Koch y *C. ornatus* Pocock) en las que el tamaño total de los animales es estadísticamente igual en hembras y machos pero no así en su caparazón cefalotorácico (J. Ponce S. Datos no publicados).

Con la información anterior y alineando las épocas de muda y duración de los diferentes estadios registrados en el campo, se reconstruye el ciclo de vida de *Hadrurus gertschi* y se concluye que se requieren al menos cuatro años para que un animal alcance la madurez sexual y tenga su primer apareamiento, un tiempo de gestación de aproximadamente 8 meses y los nacimientos en los meses de abril y mayo. La duración de 4 años para completar el ciclo en *H. gertschi* es el primer dato para esta especie y para la familia Luridae, ya que el único estudio que existe al respecto (Williams 1969), no menciona la probable duración del ciclo, concentrándose en la descripción de los patrones de actividad superficial. La variación de la información que al respecto existe es muy amplia e incluye datos de escasos 6 meses para completar un ciclo de vida en algunas especies de la familia

Buthidae, hasta especies a las que se les reportan 4.5 años (*Uroctonus yaschenko* (Birula) (Shorthouse 1971) e incluso 7 años para *Pandinus gambiensis* Herbst (Schultze 1927 en Polis y Sissom 1990) hasta alcanzar la madurez sexual.

Las medidas promedio de longitud del caparazón cefalotorácico obtenidas en este trabajo fueron: para el estadio II de 4.14 mm y para el adulto de 13.6 mm; medidas que al compararlas con lo registrado por Williams (1968) en *H. arizonensis* (4.0 mm para estadio II y 14.0 mm para el adulto) se observa concordancia en los valores de los estadios extremos observados, lo que permite suponer que la estimación es correcta y que ambas especies son de tamaños similares y su patrón de crecimiento también pudiera serlo y por tanto también el factor de 1.27 pudiera ser aplicable a la especie de Arizona.

### **Densidad**

La densidad más alta se encontró en el cuadrante Plano (0.3450 madrigueras por m<sup>2</sup>), seguido por los cuadrantes de exposición hacia el Sur (0.2300 madrigueras por m<sup>2</sup>) y el Este (0.215 madrigueras por m<sup>2</sup>), luego el Norte (0.1325 madrigueras por m<sup>2</sup>) y finalmente el Oeste (0.0825 madrigueras por m<sup>2</sup>). No existe una explicación clara ligada a los varios microclimas que nos permitan comprender la variación observada en la densidad, la cual fue de una magnitud de diferencia 3.5 veces más entre el cuadrante más denso y el menos denso. No está claro si la vegetación influye en la distribución de los escorpiones, en los pocos trabajos en que esto se ha explorado, no se encontró relación significativa entre el tipo de vegetación y la distribución de los alacranes australianos (Koch 1977, 1981) ni con *Centruroides balsasensis* en México (Ponce 2003). Algunas especies pueden presentar asociación positiva con algún tipo de vegetación particular en su área de distribución, en covarianza con la textura o dureza del suelo (Bradley 1986), lo que puede ser una coincidencia entre la vegetación y los requerimientos climáticos y/o edáficos de las especies (Polis 1990). Se analizó la posible relación entre la riqueza vegetal y la cobertura, con respecto a la densidad de madrigueras de *H. gertschi* y no se encontró evidencia estadística de ello ( $p > 0.05$ ). El suelo, en un análisis físico y

químico de perfiles provenientes de los cuadrantes en estudio, tampoco mostró efecto sobre la densidad de madrigueras ( $p > 0.05$ ); aunque un análisis más fino podría aportar mayor información en el nivel de microhábitat.

Las estimaciones de densidad muestran que en los cinco cuadrantes hubo un aumento considerable (aprox. 100%) en el curso de un año, lo cual se debe principalmente a que al inicio del trabajo, había muchas madrigueras “inactivas”, las cuales no se reconocieron como pertenecientes a los alacranes, ya que estos alacranes tapan la entrada de sus madrigueras cuando no están activos en la superficie, específicamente durante las mudas y los partos, que es cuando son susceptibles a mayores tasas de depredación y de deshidratación y conforme se “activaron” y pudieron observarse sus madrigueras se fueron registrando. También se tuvieron registros de madrigueras que inicialmente estaban activas y fueron marcadas, pero después transcurrieron hasta seis meses en los que dichas madrigueras se mantuvieron inactivas y después de dicho lapso se “reactivaron” nuevamente por varios meses consecutivos.

Los datos disponibles de densidad para el género *Hadrurus*, correspondientes a *H. hirsutus* y *Hadrurus* spp. (probablemente *H. concolorous*) en los desiertos de Baja California son de 0.5 ind. /m<sup>2</sup> (Polis 1990), que representa una cantidad de animales muy superior al máximo de madrigueras registrado en este trabajo para el cuadrante plano en los meses de junio y julio (0.345) y más del doble del promedio máximo registrado para el mismo cuadrante (0.223). Con base en los datos de este trabajo, observaciones en Baja California durante 2004 por Oscar Francke B. y con los datos que presenta Polis (1990) (comunicaciones personales de Williams), consideramos que dicha densidad es un valor muy alto para estas especies y que sería recomendable revisar el método de estimación utilizado en esos trabajos.

En México hay estimaciones de densidad obtenidas para *Centruroides balsasensis*, las cuales son bajas en comparación con los datos disponibles para otras especies de Buthidae, ya que el valor más alto obtenido fue de 0.18



individuos/m<sup>2</sup> (Ponce 2003), similar al valor más bajo registrado para *Centruroides exilicauda* (Wood, 1983) en el matorral espinoso del Sur de Baja California (0.2 individuos/m<sup>2</sup>); aunque esta especie llega a registros de 0.5 individuos/m<sup>2</sup> (Polis 1990).

Los estudios más recientes en éste aspecto son los de Brown et al. (2002) y Yamashita (2004) con *Centruroides vittatus* quienes registraron densidades de 2.92 ind. /m<sup>2</sup> y de 2.41 ind. /m<sup>2</sup> respectivamente y las estimaciones de Ponce y Vázquez (2007) para *Centruroides limpidus* (Karsch 1879), quienes con métodos de captura-recaptura reportan densidades de 0.03 a 0.08 ind. /m<sup>2</sup>. Comparativamente estas estimaciones son mucho menores que la densidad de *Hadrurus gertschi*, a pesar de que esta especie es de mucho mayor tamaño.

## **Biomasa**

Una forma cruda de estimación de la biomasa puede ser la simple multiplicación de la densidad por un peso promedio por individuo en fresco. Este método fue empleado por Shorthouse (1971) y Shorthouse y Marples (1982) para *Urodacus yaschenkoi* (Birula, 1903) (peso basado en los grupos de edad) en Australia y por Bacon (1972) para *Uroctonus mordax* Thorell 1876 en Estados Unidos. La biomasa estimada fue de 1230 a 1850 g/ha para *U. yaschenkoi* y 8300 g/ha para *U. mordax*. Polis (1990) hizo estimaciones para tres especies de la familia Buthidae, una de la familia Vaejoividae y una del género *Hadrurus* usando el mismo método. Para *Hadrurus* se estimaron 20,000 g/ha, según datos no publicados de G. Polis (1990). La biomasa estimada para *Hadrurus gertschi* es mucho menor que la mencionada por Polis (1990) para el género en California, a pesar de que la densidad registrada en este trabajo es alta, lo que refuerza la idea de que al usar datos no publicados puede haber una sobrestimación en lo reportado por Polis (1990).

Las estimaciones promedio de biomasa por edad muestran un comportamiento esperable en términos del factor de crecimiento de Dyar, ya que el

valor del peso fresco y el peso seco es cercano al doble del correspondiente a la edad anterior, en congruencia con un patrón de crecimiento geométrico que se ajusta a un modelo exponencial.

En este trabajo se estimó la biomasa en peso fresco para obtener datos comparables con otros trabajos y agregamos también los valores en peso seco, como una forma alternativa de medir la biomasa cuando no se tiene la posibilidad de pesar los ejemplares en campo, o en un tiempo corto después de la recolecta.

### **Distribución Espacial**

Los escorpiones no se distribuyen al azar dentro de un hábitat; por el contrario, especies particulares se encuentran normalmente en microhábitats específicos en función de factores como la temperatura, precipitación, suelo y la fisonomía ambiental (Polis 1990). En el caso específico de *H. gertschi* existen observaciones preliminares de que los alacrancitos del estadio II no se dispersan muy lejos de la madriguera de la madre, y la mayoría construye sus pequeñas madrigueras a pocos metros de distancia, lo cual definitivamente contribuye a la dispersión agrupada que exhibe la especie.

### **Utilidad de las entradas de las madrigueras**

Se obtuvieron 7 categorías de tamaño de *H. gertschi* y 6 de madrigueras, lo cual nos indica que aparentemente al menos un estadio mantiene su madriguera del mismo tamaño, lo que corresponde a los dos primeros estadios si consideramos la posibilidad de que el estadio 1 no tenga necesidad de cavar su propia madriguera ya que se encuentra aún sobre el dorso de su madre y no necesitaría de una madriguera propia para refugiarse, considerando esto habría coincidencia entre las categorías de tamaños observados en las madrigueras y los tamaños observados en la muestra de alacranes revisada. Esto es coincidente con el hecho de que se registraron en campo individuos del estadio II iniciando la excavación de sus propias madrigueras, como parte del proceso de dispersión de la especie.

Entre la longitud del caparazón cefalotorácico y la anchura máxima de la madriguera existe una correlación alta ( $r^2=0.5375$ ), con esto podemos concluir que entre mayor sea la anchura de la entrada de la madriguera, mayor será la profundidad de la misma. Esto es esperable ya que al complementar con el análisis entre la anchura máxima de la madriguera y la longitud total también hay una alta relación entre estas dos variables ( $r^2=0.6071$ ); es decir que los alacranes van agrandando su madriguera conforme crecen, así las madrigueras más grandes estarán habitadas por estadio adulto o subadulto y la profundidad de estas madrigueras será mayor que la de los estadios más pequeños. Sin embargo en los estadios más pequeños la entrada de la madriguera no será suficiente para saber la edad del animal que la habita ya que con el análisis Discriminante Canónico se obtuvo buena clasificación para los estadios IV al adulto, pero se mantuvieron confundidos los estadios II y III por efecto de la anchura máxima de la abertura de la madriguera.

### **Exposición y caracterización de madrigueras**

El análisis entre la profundidad de la madriguera con respecto a la exposición en la que se encuentra indica que no tienen relación aparente, lo cual sugiere que los alacranes tienen un modo de evitar las altas temperaturas de la parte superficial de las madrigueras moviéndose hacia la parte más profunda durante las horas de mayor temperatura, sin que haya una relación directa con la exposición, la cual genera diferencias en humedad y temperatura (Auslander et al. 2003) pero que a nivel de microhábitat, en el interior de las madrigueras tienen un efecto mínimo.

Las madrigueras de *Hadrurus gertschi*, están conformadas por una entrada con un túmulo bien diferenciado (cuando se encuentra activa), seguido por uno o dos túneles, los cuales en ocasiones pueden estar orientados hacia el lado derecho dando la impresión de formar un espiral, el cual es característico para los adultos de esta especie, ya que en los estadios menores presentaron en su mayoría un solo segmento recto, el cual está seguido por la cámara terminal, que es la parte donde el

alacrán se alimenta y en el caso de las hembras cuida a sus crías, las cuales permanecen en la madriguera materna hasta después de la primera muda, cuando la capa cerosa de la cutícula reduce la pérdida de agua, ya están bien esclerosados y pueden alimentarse por sí mismos (Polis 1990).

La mayoría de los escorpiones fosoriales cavan madrigueras que son moderadamente inclinadas y horizontales (Newlands 196, en White 20001) como es el caso de *Hadrurus gertschi*, no es el caso de *C. jonesii* y *Diplocentrus peloncillensis* (Francke 1975) quienes habitan madrigueras verticales. Se ha explicado la ventaja de una madriguera vertical en función de posibles inundaciones ya que en una madriguera inclinada las inundaciones y deposición de material cerca de la entrada de la madriguera, fácilmente podría atrapar al alacrán y llevarlo a la asfixia, mientras que en una madriguera vertical al ser inundada, permite el fácil escape del alacrán al escurrir los sedimentos por los costados de la madriguera y elevar el piso del túnel.

Harington (1978) reporta que las madrigueras de *C. jonesii* se encuentra generalmente en la base de hierbas gruesas, en *Hadrurus gerstchi* las madrigueras generalmente se encuentran en espacios abiertos, en lugares planos (sin pendiente) y laderas con diferentes pendientes; aunque pueden estar cerca de algún arbusto o una piedra grande, no se encontró ningún patrón de asociación con alguno de estos microhábitats; sino más bien la ubicación generalizada fue en espacios abiertos. La entrada de la madriguera de *C. jonesii* presenta dos túmulos en la entrada, el primero se ve generalmente en un lado de la entrada de la madriguera solamente, mientras que en el segundo se extiende radialmente desde la entrada (Harington 1978) a diferencia de *H. gerstchi* en el que la entrada presenta únicamente un túmulo bien diferenciado (cuando se encuentra activo) en la parte frontal de la entrada. Para *C. jonesii* la madriguera es un túnel simple con una entrada rectangular, penetrando en el suelo a unos 70°-90° respecto a la horizontal, y su diámetro aumenta alrededor de un tercio del camino hacia abajo a una anchura de aproximadamente el doble de la entrada (Harington 1978); en *H. gertschi* la primera sección del túnel tiene características similares solo que no hay una diferencia tan grande entre la parte

anterior del túnel y la parte baja del mismo, excepto en las madrigueras con dos secciones en las cuales al final de la primera sección pudo apreciarse un ensanchamiento al que llamamos “cámara intermedia” y que suponemos es la parte en la que el alacrán estando activo y al acecho de sus presas, se refugia cuando detecta un posible depredador y también le sirve para darse vuelta cuando regresa a su madriguera y entra con la cabeza por delante. White (2001) registra para la especie *Urodacus yaschenko*i que la madriguera consiste en una entrada anterior poco profunda seguida de una sección en espiral y posteriormente por una cámara terminal de forma horizontal, como fue observado por Koch (1978) y Shorthouse y Marples (1980) y White (2001), lo cual es muy similar a lo que se encontró en este estudio en las madrigueras de *Hadrurus gertschi* con dos secciones.

La conclusión principal de esta parte del trabajo es que el alacrán va agrandando su madriguera conforme a su crecimiento; el alacrán grande vive en hoyo grande que corresponde a madrigueras más largas y profundas y un alacrán chico vive en hoyo chico (se gasta energía en hacer un hoyo, y la energía es la principal limitante). Con base a las medidas tomadas es posible afirmar que la longitud total de las madrigueras aumenta con el crecimiento del animal (=longitud del carapacho); la profundidad se incrementa con cada muda y el ancho máximo de la entrada aumenta en relación directa al crecimiento del animal.

## VII. CONCLUSIONES

- ✓ El factor de crecimiento que presentó mejor ajuste para *Hadrurus gertschi* fue 1.27, con variación entre estructuras lo que sugiere un patrón levemente alométrico con crecimiento ligeramente menor en las estructuras del pedipalpo con respecto al caparazón cefalotorácico y el segmento caudal V.
- ✓ La longitud del caparazón cefalotorácico y del segmento caudal V, deberán seguir siendo usadas para establecer el factor de crecimiento ya que son las menos variables y las más confiables.
- ✓ La fenología de *H. gertschi* indica sincronización de las épocas de reproducción, nacimiento y muda, lo cual genera el traslape de generaciones observado.
- ✓ La presencia del estadio II en pequeñas madrigueras en los meses de Mayo Junio y Julio, hace suponer que en los meses de Marzo y Abril es cuando ocurren los nacimientos y el transcurso del primer estadio dentro de la madriguera materna.
- ✓ Los machos adultos se encuentran vagando en los meses de agosto y septiembre, al parecer porque es en esta época en que hacen la búsqueda de las hembras sexualmente receptivas, como lo confirman los comportamientos de cortejo observados en los meses de julio y octubre.
- ✓ Los meses con mayor proporción de madrigueras activas fueron septiembre, octubre y diciembre, lo cual sugiere que el aumento en el patrón de actividad se debe a la disponibilidad de alimento.
- ✓ Con los datos de campo y el análisis realizado se concluye que para esta especie se requieren de 7 estadios y 6 mudas para llegar a la edad adulta y se requieren al menos cuatro años para que un animal alcance la madurez sexual y tenga su primer apareamiento.
- ✓ El tiempo de gestación determinado es de aproximadamente 8 meses y los nacimientos en los meses de abril y mayo.
- ✓ La estimación de densidad máxima registrada en este trabajo se obtuvo para el cuadrante plano en los meses de junio y julio (0.345 madrigueras por m<sup>2</sup>).

- ✓ Las estimaciones promedio de biomasa por edad muestran un comportamiento esperable en términos del factor de crecimiento de Dyar, ya que el valor del peso fresco y el peso seco es cercano al doble del correspondiente a la edad anterior, en congruencia con un patrón de crecimiento geométrico que se ajusta a un modelo exponencial.
- ✓ Los escorpiones no se distribuyen al azar dentro del hábitat; sino que presentan distribución agrupada, sin relación aparente con la vegetación o las características generales del suelo.
- ✓ Existe una alta correlación significativa entre la longitud del caparazón cefalotorácico y la anchura máxima de la madriguera, así como con la longitud y profundidad; por lo que entre mayor sea la anchura de la entrada de la madriguera, mayor será la edad del alacrán, la longitud y la profundidad de la misma.
- ✓ La profundidad de la madriguera con respecto a la exposición en la que se encuentra indica que no tienen relación aparente, lo cual sugiere que los alacranes tienen un modo de evitar las altas temperaturas de la parte superficial de las madrigueras moviéndose hacia la parte más profunda durante las horas de mayor calor.
- ✓ Las madrigueras de *Hadrurus gertschi*, están conformadas por una entrada con un túmulo bien diferenciado (cuando se encuentra activa), seguido por uno o dos túneles, los cuales en ocasiones pueden estar orientados hacia el lado derecho dando la impresión de formar un espiral.
- ✓ Los estadios menores presentaron en su mayoría madrigueras con una sola sección recta, mientras que en los adultos hay dos secciones y es más común la forma en espiral.
- ✓ La cámara terminal es la parte donde el alacrán se alimenta y en el caso de las hembras cuida a sus crías, las cuales permanecen en la madriguera materna hasta después de la primera muda.

## VIII. LITERATURA GENERAL.

- Auslander, M., E. Nevo y M. Inbar. 2003. The effect of slope orientation on plant growth, developmental instability and susceptibility to herbivores. *Journal of Arid Environments* 55: 405-416.
- Bacon, A. D. 1972. Ecological studies on a population of *Uroctonus mordax* Thorell. Master's Thesis, Calif. St. Univ. San Francisco. 54pp.
- Benton, T. 2001. Reproductive Ecology. In: Brownell, P. y G. Polis (Eds.). *Scorpion Biology and Research*. Oxford University Press. New York. pp. 278-301.
- Beutelspacher, B. C. R. 2000. Catálogo de los Alacranes de México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. 175 pp.
- Bradley, R. A. 1986. The relationship between population density of *Paruroctonus utahensis* (Scorpionida: Vaejovidae) and characteristics of its habitat. *Journal of Arid Environments*. 11:165–171.
- Brown, C. A. 1997. Growth rates in the scorpion *Pseudouroctonus reddelli* (Scorpionida, Vaejovidae). *The Journal of Arachnology* 25:288–294
- Brown, C. A. 2001. Allometry of offspring size and number in scorpions. En: *Scorpions 2001. In memoriam Gary A. Polis*. V. Fet and P.A. Selden (eds.). British Arachnological Society. Burnham Beeches, pp. 307-315.
- Brown, C. A., J. M. Davis, D. J. O'Connell y D. R. Formanowitz, Jr. 2002. Surface density and nocturnal activity in a west Texas assemblage of scorpions. *Southwestern Naturalist* 47:409-419.
- Fet, V., W. D. Sissom, G. Lowe y M. E. Braunwalder. 2000. *Catalog of the Scorpions of the World (1758-1998)*. New York Entomological Society. New York, USA. 690 pp.
- Francke, O. F. 1976. Observations on the life history of *Uroctonus mordax* Thorell (Scorpionida, Vaejovidae). *Bulletin of the British Arachnological Society* 3:254–260.
- Francke, O.F y D. W. Sissom 1984. Comparative review of the methods used to determine the number of molts to maturity in scorpions (Arachnida). With analysis of the post-birth development of *Vaejovis coahuilae* Williams (Vaejovidae). *Journal of Arachnology* 12:1-20.
- Francke, O. F. y L. Prendini. 2008. Phylogeny and classification of the giant hairy scorpions, *Hadrurus* Thorell (Iuridae Thorell): a reappraisal. *Systematics and Biodiversity* 6 (2): 205–223



- García, E. 1981. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Inst. Geog. UNAM. 252 pp.
- Hadley, N. F. 1970. Water relations of the desert scorpions, *Hadrurus arizonensis*. Journal of Experimental Biology. 53: 547-558
- Harington, A . 1978 . Burrowing biology of the scorpion *Cheloctonus jonesii* Pocock (Scorpionida, Scorpionidae) . J. Arachnol . 5: 243-249.
- JMP v. 6.0 de SAS Institute (2005).
- Koch, L.E. 1977. The taxonomy, geographic distribution and evolutionary radiation of Australo-Papuan scorpions. Rec. Western Australian Mus. 5:83-367.
- Koch, L. E. (1978). A comparative study of the structure, function and adaptation to different habitats of burrows in the scorpion genus *Urodacus* (Scorpionida, Scorpionidae). Records of the Western Australian Museum 6, 119–146.
- Koch, L.E. 1981. The scorpions of Australia: aspects of their ecology and zoogeography. In Ecological Biogeography of Australia. Keast A. (Ed.). Monogr. Biol., 41 (2). pp 875-884.
- Krebs, Charles J. 2000. Ecological Methodology, 2nd (Ed.). Addison-Welsey Educational Publishers, Inc. Menlo Park, CA. 620 pp.
- Lourenço, W.R. 1979. Le scorpion Buthidae: *Tityus mattogrossensis* Borelli, 1901(morphologie, écologie, biologie et développement postembryonnaire). Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris 4e sér. 1 (A1): 95-117.
- Lourenço, W.R. 1988. Le développement postembryonnaire de *Centruroides pococki* Sissom & Francke, 1983 (Buthidae) et de *Didymocentrus lesueurii* (Gervais, 1844) (Diplocentridae) (Arachnida, Scorpiones). Revue Arachnologique 7 (5): 213-222.
- Lourenço, W.R. 1989. Le développement postembryonnaire de *Rhopalurus princeps* (Karsch, 1879) (Scorpiones, Buthidae). Revista Brasileira de Biologia 49 (3): 743-747.
- Polis, G.A. & McCormick, S.J. 1986. Patterns of resource use and age structure among a guild of desert scorpions. Journal of Animal Ecology 55: 59–73.
- Polis, G. A. y W. D. Sissom. 1990. Life History. En: G. A. Polis (ed.). The Biology of Scorpions. Stanford University Press. Stanford, California. p. 161-223.
- Polis, G. A. 1990. Ecology. En: Polis, G. A (ed.). The Biology of Scorpions. Stanford University Press. Stanford, California, p. 247-293.
- Ponce, S. J. y C. Díaz-Mora. 2002. Alacranes (Arachnida: scorpiones) de Colola, Municipio de Aquila, Michoacán, México. Revista Ciencia Nicolaita 33:19-28.

- Ponce, S. J., 2003. Ecología y Distribución del género *Centruroides* Marx 1890 (Scorpiones: Buthidae), en la Depresión del Balsas del Estado de Michoacán. Tesis Doctorado, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro, México. 276 pp.
- Ponce, S. J., O. Francke B. y H. Suzán A. 2006. Actividad superficial y utilización del hábitat por *Centruroides balsasensis* Ponce y Francke (Scorpiones: Buthidae). Revista Biológicas 8:130-137.
- Ponce S. J. y X. J. Vázquez V. 2007. Aspectos ecológicos de *Centruroides limpidus limpidus* (Karsch) en una localidad de Zitácuaro, Michoacán. Entomología Mexicana 6 (1): 71-75
- Rouaud, C., H. Dietmar y W. R. Lourenço. 2000. Life history of *Caribetityus elii* (Armas & Marcano Fondeur, 1992) from the Dominican Republic (Scorpiones, Buthidae). European Arachnology 2000:87-90.
- Rzedowski, J. 1978. La vegetación de México. Ed. Limusa. México. 432 pp.
- Schultze, W. 1927. Biology of the large Philippine forest scorpion. Philippine J. Sci, 32 (3):m 375-388.
- Shorthouse, D. J. 1971. Studies on the biology and energetics of the scorpion *Urodacus yaschenkoi* (Birula 1904). Ph. D. Thesis. Australian National University. 85 pp.
- Shorthouse, D. J. y Marples, T. G. 1982. Observations on the Burrow and Associated Behaviour of the Arid-Zone Scorpion *Urodacus yaschenkoi* (Birula). Aust. J. Zool. 28, 581-90.
- Shorthouse, D. J. y Marples, T. G. 1982. The life stages and population dynamics of an arid zone scorpion *Urodacus yaschenkoi* (Birula 1903). Austr. J. Ecol. 7 (2):109-118.
- Sissom, W. D. 1980. Life histories of two North American scorpions: *Centruroides vittatus* (Say) (Buthidae) and *Vaejovis bilineatus* Pocock (Vaejovidae). Thesis in Zoology. Master of Sciences. Texas Tech University. 97 pp.
- Sissom, W. D. and O. F. Francke. 1983 . Post-birth development of *Vaejovis bilineatus* Pocock (Scorpiones: Vaejovidae) . Journal of Arachnology 11 :69-75.
- Sissom, W. D., G. A. Polis y D. D. Watt. 1990. Field and Laboratory methods. En: Polis, G. A (Ed.). The Biology of Scorpions. Stanford University Press. Stanford, California. pp. 445-461.
- Smith, G. T. (1966). Observations on the life history of the scorpion *Urodacus abruptus* Pocock (Scorpionidae), and an analysis of its homesites. Aust. J. Zool. 14, 383-98.

- Warburg, M. R. y G. A. Polis. 1990. Behavioral Responses, Rhythms, and Activity Patterns. *In The Biology of Scorpions*, G. A. Polis (ed.). Stanford University Press. Stanford, California. P. 224-246.
- White, C. R. 2001. The energetics of burrow excavation by the inland robust scorpion, *Urodacus yaschenkoi* (Birula, 1903). *Australian Journal of Zoology*. 49, 663–674
- Williams, S. C. 1966. Burrowing activities of the scorpions *Anuroctonus phaeodactylus* (Wood) (Scorpionidae: Vaejovidae). *Proceedings of the California Academy of Sciences*. 34: 419-428.
- Williams, S. C. 1968. Habitat preference and surface activities of the scorpions *Hadrurus arizonensis*, *Vejovis confusus* and *Vejovis spinigerus*. Thesis Doctor of Philosophy. Arizona State University. 101 pp.
- Williams, S. C. 1969. Birth activities of some North American scorpions. *Proceedings of the California Academy of Sciences* 37:1-24.
- Williams, S. C. 1980. Scorpions of Baja California, Mexico, and adjacent islands. *Occ. Papers Cal. Acad. Sc.* 135:1-127.
- Yamashita, T. 2004. Surface activity, biomass, and phenology of striped scorpion, *Centruroides vittatus* (Buthidae) in Arkansas. *Euscorpius-Occasional Publications in Scorpology* 17:25-33.