



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE BIOLOGÍA

SISTEMÁTICA

**VARIACIÓN MORFOLÓGICA Y CARIOTIPOS DE
ESPECIES DE MUSARAÑAS MEXICANAS**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

P R E S E N T A

STEPHANYE MATA GONZÁLEZ

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: Dr. Fernando A. Cervantes Reza

Instituto de Biología, UNAM

COMITÉ TUTOR: Dra. María Eugenia Gonsebatt Bonaparte

Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM

Dr. José Juan Flores Martínez

Instituto de Biología, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX. 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
INSTITUTO DE BIOLOGIA
OFICIO CPCB/606/2020
ASUNTO: Oficio de Jurado

M. en C. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar, UNAM
P r e s e n t e

Me permito informar a usted que en la reunión del Subcomité por Campo de Conocimiento de Ecología, Manejo Integral de Ecosistemas, Biología Evolutiva y Sistemática del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 20 de enero de 2020, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en el campo de conocimiento de **SISTEMÁTICA** de la alumna **MATA GONZÁLEZ STEPHANYE** con número de cuenta **306061875** con la tesis titulada **“Variación morfológica y cariotipos de especies de musarañas mexicanas”**, realizada bajo la dirección del **DR. FERNANDO ALFREDO CERVANTES REZA**, quedando integrado de la siguiente manera:

Presidente: DR. LÁZARO GUEVARA LÓPEZ
Vocal: DR. VÍCTOR MANUEL GUILLERMO SÁNCHEZ CORDERO DÁVILA
Secretario: DRA. MARÍA EUGENIA GONSEBATT BONAPARTE
Suplente: DR. PEDRO MERCADO RUARO
Suplente: DR. JUAN FRANCISCO EFRAÍN DE LUNA GARCÍA

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
Cd. Universitaria, Cd. Mx., a 25 de septiembre de 2020

COORDINADOR DEL PROGRAMA



DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA



AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Ciencias Biológica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por la oportunidad de estar aquí y por el apoyo para poder concluir con esta etapa de mi formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca de manutención, con la cual pude realizar mis estudios de Maestría (CVU 774539).

Al Posgrado en Ciencias Biológicas por el apoyo que me dieron para realizar la estancia de investigación en el National Museum of Natural History, de Washington D.C., a través del Programa de Apoyo a los Estudios de Posgrado (PAEP).

A los miembros de mi comité tutor: Dr. Fernando Alfredo Cervantes Reza (tutor principal), Dra. María Eugenia Gonsebatt Bonaparte y Dr. José Juan Flores Martínez, por aceptar dirigir la tesis, por su tiempo, por su apoyo y por todas las sugerencias para mejorar este trabajo.

AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser mi segunda casa y por permitirme ser parte de esta gran comunidad académica.

A mi tutor, el Dr. Fernando Cervantes Reza por confiar en mí, por su paciencia y por el entusiasmo que siempre tuvo para enseñarme un poco de todo, de este enorme mundo que es la mastozoología. Gracias por compartir conmigo su gran amor por la ciencia y sus interminables ganas de conocer siempre un poco más sobre los mamíferos de México.

A los miembros de mi comité tutor, la Dra. María Eugenia Gonsebatt Bonaparte y el Dr. José Juan Flores Martínez, por su tiempo y sus ideas, por su ayuda y por siempre darme ánimos.

A los miembros del jurado que revisaron mi tesis, que compartieron sus conocimientos, experiencia y materiales para que este trabajo fuera posible. Por su paciencia infinita, sus ganas de enseñarme, por hacerme batallar un poco, pues gracias a eso aprendí demasiado: Dr. Lázaro Guevara López, Dr. Víctor Sánchez-Cordero Dávila, Dra. María Eugenia Gonsebatt Bonaparte, Dr. Pedro Mercado Ruaro y Dr. Efraín De Luna.

A los curadores, investigadores asociados y técnicos de las colecciones biológicas, que me permitieron conocer y examinar los valiosos ejemplares que tiene a su resguardo: Fernando Cervantes Reza, Yolanda Hortelano y Julieta Vargas (CNMA), Robert S. Voss y Eleanor Hoeger (AMNH), Darrin Lunde, Suzzane Peurach y Neal Woodman (National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, USNM).

A Rocío González, la persona más dulce, por hacernos los trámites y la vida más fáciles.

A las Maestras Yolanda Hortelano y Julieta Vargas por haberme recibido siempre con una sonrisa, por compartir su tiempo y sus experiencias, por escucharme en los momentos difíciles y en los momentos de cotorreo. Por ayudarme siempre que lo necesité, por enseñarme todo el trabajo que mantiene a una colección funcionando.

Al maravilloso Team Musaratón, Lázaro Guevara, Robert Anderson, Elizabeth Arellano, Martín Cabrera y Gonzalo Pinilla, ustedes me iniciaron en el trabajo de campo, me enseñaron cosas importantes e invaluable y gracias a esos viajes no puedo pensar en una vida y una carrera diferentes a las que he elegido.

A Julieta, Liz, Edwin, Ismar y Edini por su ayuda en campo. Por aguantar mi estrés, por las pláticas, las fotos, las comidas, los recuerdos y los bichos.

A mis compañeros y amigos de la CNMA, colecciones vecinas y otros laboratorios, Edwin, Liz, Joel, Jonathan, Rebeca, el Doc Ángel, Edini, Julieta, Yolanda, Angie, Albert, Laura, Omar, Nidia, Meli, Darinka, Bianni, Lesly, Cecy, Larissa, Kevin, Moisés, Katia, Ángeles y Natalia (perdonen si omití a alguien). Por su compañía, su amistad, por las tardes de volley, por compartir frustraciones y alegrías, por su ayuda cuando no tenía idea de nada, por los ratos de chistes y chismes, por hacer de mi estancia una experiencia muy grata.

A Carlos, por todo el cariño compartido, por las risas, las aventuras, las horas de pláticas ñoñas, por la paciencia, por confiar en mí y en que podría lograr todo lo que soñara. Por acompañarme en este camino que a veces parecía una montaña. Por apoyarme y por crecer juntos en todos los aspectos. Por enseñarme a pensar de forma crítica. Por empujarme desde el principio, porque sin ti tal vez nunca hubiera llegado a la CNMA.

Al Doc Lázaro, por todo lo que has hecho por mí, por todo lo que me has enseñado, por ser mi maestro, amigo, colega, buzón de quejas y compañero de chismes. Por echarme porras cuando sentía que no podía más. Por las risas. Por mostrarme lo increíbles y encantadoras que son la musarañas.

A mis amiguitos de siempre y para siempre, Elena, Omar, Omar, Omar, Bere, Marco y Abraham. Por existir, por hacerme reír, por motivarme, quererme, entenderme y soportar mis enojos, locuras, flojeras y risas interminables.

A mi gran familia Mata Silva – González Juárez, por los días de diversión y por ser un apoyo incondicional. Por ser biólogos de vez en cuando.

A mis personas más amadas, mis padres, Oscar Mata Silva y Francisca González Juárez. Gracias por TODO. Por ser mi mayor inspiración, por apoyar mis decisiones, por interesarse en lo que hago y aprender juntos, por estar a mi lado cada día para hacerme reír, por dejarme ser.

A mi hermana adorada, Hellen Mata González, por empujarme siempre hacia adelante, por mostrarme siempre el lado positivo de la vida, por ser mi gran ejemplo y por dejarme ser el tuyo. Se supone que soy la mayor, pero siempre has sido tú la que me ha enseñado a mí.

DEDICATORIA

A Oscar, Francisca y Hellen.

Nada de lo que soy y lo que he logrado sería posible si ustedes no estuvieran aquí.

A Amada, Apolonio, Elena y Vicente.

Quienes nos enseñaron el camino.

“Lo único especial de los átomos que te componen es que te componen. Ese es, por supuesto, el milagro de la vida.”

BILL BRYSON,

Una breve historia de casi todo.

CONTENIDO

RESUMEN	i
ABSTRACT	iii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Variación morfológica de los mamíferos pequeños: las musarañas	1
2. ANTECEDENTES	2
2.1 Variación morfológica del género <i>Sorex</i>	2
2.2 Variación morfológica del género <i>Cryptotis</i>	4
2.3 Estudios sobre el cariotipo de las musarañas	9
2.4 Las musarañas de Oaxaca	12
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
4. HIPÓTESIS	15
5. OBJETIVOS	16
6. MATERIALES Y MÉTODOS	16
6.1 Área de colecta	16
6.2 Ubicación de las unidades de muestreo	17
6.3 Obtención del cariotipo	17
6.4 Revisión de ejemplares de museo	18
6.5 Datos morfológicos	20
6.6 Análisis de datos	23
7. RESULTADOS	25
7.1 Colecta y revisión de ejemplares de musarañas	25
7.2 Cariotipos de <i>Cryptotis</i> y <i>Sorex</i>	26
7.3 Morfología de <i>Cryptotis</i>	30
7.3.1 Coeficiente de variación morfológica por especies, sexos y por localidades	30
7.3.2 Análisis discriminante entre las especies de <i>Cryptotis</i>	32
7.3.3 Análisis de distancia y agrupamiento	32
7.3.4 Análisis de los ejes discriminantes	33
7.3.5 Análisis lineal discriminante entre localidades de <i>Cryptotis mexicanus</i>	35

7.3.6 Análisis de los ejes discriminantes	37
7.4 Morfología de <i>Sorex</i>	39
7.4.1 Coeficiente de variación morfológica entre especies, sexos y por localidades	39
7.4.2 Análisis discriminante	40
7.4.3 Análisis de agrupamiento	40
7.4.4 Análisis de los discriminantes	41
7.4.5 Análisis discriminante de Fisher entre localidades	43
7.4.6 Análisis de agrupamiento	44
7.4.7 Análisis de varianza de los ejes discriminantes	44
8. DISCUSIÓN	47
8.1 El cariotipo de <i>Cryptotis magnus</i> , <i>Cryptotis mexicanus</i> , <i>Sorex veraepacis mutabilis</i> y <i>Sorex ventralis</i>	47
8.2 La variación morfológica entre especies, sexos y localidades de <i>Cryptotis</i>	50
8.3 Las diferencias morfológicas entre especies, sexos y localidades de <i>Cryptotis</i>	51
8.4 Las diferencias morfológicas entre <i>Cryptotis goldmani goldmani</i> , <i>Cryptotis goldmani machetes</i> y <i>Cryptotis peregrinus</i>	52
8.5 Las diferencias morfológicas entre ejemplares de <i>Cryptotis mexicanus</i> de diferentes localidades	53
8.6 La magnitud de la variación morfológica intraespecífica e interespecífica en <i>Sorex</i>	55
8.7 Las diferencias morfológicas entre especies y localidades de <i>Sorex</i>	56
8.8 La evidencia morfológica que podría elevar a nivel de especie a <i>Sorex veraecrucis altoensis</i> y <i>Sorex veraecrucis veraecrucis</i>	58
8.9 La variación morfológica de <i>Sorex veraepacis mutabilis</i> a través de su distribución en el estado de Oaxaca	60
9. CONCLUSIONES	64
10. PERSPECTIVAS	66
11. LITERATURA CITADA	67
12. ANEXO I	76

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Musaraña *Cryptotis mexicanus*. Fotografía: Edwin G. Batalla González.
- Figura 2** Mapa de las localidades de colecta de especies de *Cryptotis* analizadas en este estudio. 1= Cerro Zempoaltepetl, 2= Totontepec, 3=Los Reyes, 4= Ozolotepec 5= Omilteme, 6= Chilpancingo, 7= Loc. 15 mi W de Oaxaca, 8= La Esperanza, Santiago Comaltepec y 9= Santa Catarina Ixtepeji.
- Figura 3** Mapa de las localidades de colecta de especies de *Sorex* analizadas en este estudio. 1= Cerro San Felipe, 2= Loc. 15 mi W de Oaxaca, 3= Ozolotepec, 4= Cerro Zempoaltepetl 5= Totontepec, 6= Santa Inés del Monte, 7= Llano del Toro, 8= Peña Blanca, 9= Santiago Comaltepec, 10= Parque Nacional Izta-Popo y 11= San Martín Texmeluca.
- Figura 4** Componentes craneales, mandibulares y de la mano de una musaraña del género *Cryptotis* (modificado de Woodman y Timm, 1999; Woodman y Morgan, 2005).
- Figura 5** Ejemplar de *Cryptotis mexicanus* ♂ adulto, colectado en Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca (CNMA 49317).
- Figura 6** Arriba: metafases de *Cryptotis magnus* macho (CNMA 49306), visto a 100x. 2n=26 y 27, NF=51 y 53. Abajo: cromosomas ordenados de *Cryptotis magnus* 2n=26
- Figura 7** Metafases de *Cryptotis mexicanus* macho (CNMA 49324). Vista a 100x, 2n=56.
- Figura 8** a) metafase de *Sorex veraepacis mutabilis* hembra (CNMA 49395), vista a 100x. b) cromosomas ordenados de *Sorex veraepacis mutabilis*, 2n=49
- Figura 9** Metafase de un ejemplar de *Sorex ventralis* macho (CNMA 49389), visto a 100x. En el círculo se resaltan cromosomas telocéntricos.
- Figura 10** Porcentajes promedio de los coeficientes de variación de *Cryptotis* por especie y por sexo. CMA = *Cryptotis magnus* (machos n=14, hembras n=16), CME = *Cryptotis mexicanus* (machos n=21, hembras n=18), CGG = *Cryptotis goldmani goldmani* (machos n=7, hembras n=4), CGM= *Cryptotis goldmani machetes* (machos n=4, hembras n=8), CPE = *Cryptotis peregrinus* (machos n=10, hembras n=10). La M y la H en los acrónimos hacen referencia a macho y hembra respectivamente.
- Figura 11** Análisis discriminante de Fisher entre las cinco especies de *Cryptotis*. *Cryptotis magnus* (n=32), *Cryptotis mexicanus* (n=41), *Cryptotis goldmani goldmani* (n=11), *Cryptotis goldmani machetes* (n=12) y *Cryptotis peregrinus* (n=22).
- Figura 12** Fenograma de distancias de Manhattan entre los centroides de las especies de *Cryptotis* construido con UPGMA.
- Figura 13** Análisis lineal discriminante de Fisher entre localidades de *Cryptotis mexicanus*. Las elipses representan intervalos de confianza de 95 %.

Localidad Cerro Zempoaltepetl n=18, Localidad Los Reyes n=13, Localidad Totontepec n=9).

- Figura 14** Fenograma de distancias entre los centroides de *Cryptotis mexicanus* por localidades.
- Figura 15** Porcentajes promedio de los coeficientes de variación de *Sorex* por sexo y por especie. SVA = *Sorex veraecrucis altoensis* (machos n=4, hembras n=4), SVER = *Sorex veraecrucis veraecrucis* (machos n=3, hembras n=4), SVEN = *Sorex ventralis* (machos n=12, hembras n=22), SVM = *Sorex veraepacis mutabilis* (machos n=22, hembras n=12). La M y H al final de los acrónimos anteriores son macho y hembra respectivamente.
- Figura 16** Análisis discriminante de Fisher entre las especies de *Sorex*. *Sorex veraecrucis altoensis* (n=8), *Sorex veraecrucis veraecrucis* (n=7), *Sorex ventralis* (n=34), *Sorex veraepacis mutabilis* (n=34).
- Figura 17** Fenograma de distancias de Manhattan entre los centroides del análisis discriminante de las especies de *Sorex*.
- Figura 18** Análisis discriminante de Fisher entre las localidades de *Sorex veraecrucis altoensis* (SVA), *Sorex veraecrucis veraecrucis* (SVER) y *Sorex veraepacis mutabilis* (SVM). Las elipses representan intervalos de confianza 95 %.
- Figura 19** Fenograma de distancias de Manhattan entre los centroides de las localidades de las especies de *Sorex*.

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1** Arreglo cromosómico de especies de musarañas de los géneros *Crocidura*, *Suncus*, *Blarina*, *Sorex* y *Cryptotis*. $2n$ = número diploide; M = cromosomas metacéntricos; SM = cromosomas submetacéntricos; ST = cromosomas subteloicéntricos; A = cromosomas acrocéntricos; X = morfología del cromosoma sexual femenino; Y = morfología del cromosoma sexual masculino; NF = número fundamental.
- Cuadro 2** Caracteres morfológicos corporales, de mano derecha, así como de cráneo, usados en este estudio. (Woodman y Timm, 1999; Ramírez-Pulido *et al.*, 2004; Carraway, 2007).
- Cuadro 3** Arreglo cromosómico encontrado en *Cryptotis magnus*, *C. mexicanus*, *S. ventralis* y *S. veraepacis mutabilis*. $2n$ = número diploide; M = cromosomas metacéntricos; SM = cromosomas submetacéntricos; ST = cromosomas subteloicéntricos; T = cromosomas telocéntricos; X = morfología del cromosoma sexual femenino; Y = morfología del cromosoma sexual masculino; NF = número fundamental.
- Cuadro 4** Autovalores del análisis discriminante entre especies de *Cryptotis* (Fig. 11). Los acrónimos de las variables se describen en la sección de materiales y métodos.
- Cuadro 5** Autovalores del análisis discriminante entre las localidades de *Cryptotis mexicanus* (Fig. 13). Los acrónimos de las variables se describen en la sección de materiales y métodos.
- Cuadro 6** Autovalores del análisis discriminante entre especies de *Sorex* (Fig. 16). Los acrónimos de las variables se describen en la sección de materiales y métodos.
- Cuadro 7** Autovalores del análisis discriminante de Fisher entre las localidades de *Sorex veraecrucis altoensis*, *S. veraecrucis veraecrucis* y *S. veraepacis mutabilis* (Fig. 18). Los acrónimos de las variables se describen en la sección de materiales y métodos.

RESUMEN

En México se conocen 15 especies de musarañas (Eulipotyphla, Soricidae) del género *Cryptotis* y 19 del género *Sorex*. Entre algunas de estas especies se han observado considerables similitudes morfológicas, pero también se han descrito diferencias morfológicas entre poblaciones de una misma especie, estos fenómenos generan incertidumbre y es por ello que existen algunas dudas sobre el arreglo taxonómico de las especies. Aunque anteriormente se ha analizado la morfología de varias especies de musarañas, la evidencia morfológica es insuficiente aun para conocer todas sus similitudes y diferencias. Por otro lado, la información genética está limitada a unas cuantas especies. Una herramienta complementaria a la morfología y a los análisis filogenéticos, útil para delimitar especies, es la caracterización de los cariotipos. Estudios anteriores de musarañas de los géneros *Sorex*, *Crocidura* y *Blarina* reportan números cromosómicos de entre 26 y 54 cromosomas. Sin embargo, de *Cryptotis* sólo se conocen los datos de una especie, por lo tanto hay un gran vacío de información sobre este género. En consecuencia, es necesario conocer cuál es el grado de diferenciación morfológica entre estas especies y entre las localidades de cada especie y conocer sus características cromosómicas. Para responder a estas preguntas se hizo la caracterización del cariotipo de 4 especies de musarañas, *Cryptotis mexicanus*, *C. magnus*, *Sorex ventralis* y *S. veraepacis mutabilis*, colectadas en un parche de Bosque Mesófilo de Montaña de Oaxaca. También se midieron 35 y 36 variables corporales y de cráneo de 215 ejemplares de tres colecciones mastozoológicas, de las especies *Cryptotis goldmani goldmani*, *C. g. machetes*, *C. magnus*, *C. mexicanus*, *C. peregrinus*, *Sorex saussurei*, *S. ventralis*, *S. veraecrucis* y *S. veraepacis mutabilis*. Los resultados indican que las cuatro especies de las que se obtuvo el cariotipo poseen un

numero cromosómico diploide (2n) mayor a 26. Sin embargo, el complemento cromosómico de *Cryptotis* fue diferente del de *Sorex*. Además, el complemento cromosómico de *Cryptotis magnus* fue diferente del de *C. mexicanus* en morfología y número. Estas diferencias cromosómicas están acompañadas de notables diferencias morfológicas. El complemento cromosómico de *Sorex veraepacis mutabilis* difirió de *S. ventralis* en número y en morfología. *S. v. mutabilis* presentó 40 % más cromosomas que *S. ventralis*. El análisis discriminante entre especies de *Sorex* y de *Cryptotis* permitió identificar las variables más útiles para diferenciar entre las especies. El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre las variables corporales y craneales de *C. g. machetes*, *C. g. goldmani* y *C. peregrinus*, así como entre localidades de *C. mexicanus*. También se encontraron diferencias significativas entre *Sorex ventralis* y *S. veraepacis mutabilis*, así como entre *S. ventralis* y *S. v. veraecrucis*, entre las localidades de todas las especies. Se encontraron importantes diferencias entre las cuatro localidades de *S. v. mutabilis*. De acuerdo con los análisis morfológicos, las características principales para diferenciar entre este conjunto de especies pertenecen principalmente a la mandíbula. Los resultados también mostraron diferencias morfológicas significativas entre las subespecies *C. g. goldmani* y *C. g. machetes*. Las grandes diferencias morfológicas observadas entre poblaciones de *C. mexicanus* y *S. v. mutabilis* resultaron en morfotipos nuevos para las especies, esto implican que estos taxones requieren una revisión más detallada.

ABSTRACT

In Mexico, 15 species of shrews (Eulipotyphla, Soricidae) of the genus *Cryptotis* and 19 of the genus *Sorex* are known. Considerable morphological similarities, morphological differences between their populations or both have been observed among some of these species. That is why there are many doubts about its taxonomic arrangement. Although the morphology of several species of shrews has been analyzed before, the morphological evidence is insufficient even to know all its similarities and differences. On the other hand, genetic information is limited to a few studies. A complementary tool to morphology and phylogenetic analyzes, useful for delimiting species, is the characterization of karyotypes. Previous studies of shrews of the *Sorex*, *Crocidura* and *Blarina* report chromosome numbers between 28 and 56 chromosomes. However, from *Cryptotis* only one report is known, therefore there is a large gap of information on this genus. Consequently, it is necessary to know the degree of morphological differentiation between these species and between the localities of each species and to know their chromosomal characteristics. In order to answer these questions, the karyotype characterization of 4 species of shrews, *Cryptotis mexicanus*, *C. magnus*, *Sorex ventralis* and *S. veraepacis mutabilis*, collected in a patch of Oaxaca's cloud forest was made. 35 and 36 body and skull variables of 215 specimens from three mastozoological collections were measured, from *Cryptotis goldmani goldmani*, *C. g. machetes*, *C. magnus*, *C. mexicanus*, *C. peregrinus*, *Sorex saussurei*, *S. ventralis*, *S. veraecrucis* and *S. veraepacis mutabilis*. The chromosomal characteristics of *Cryptotis* was different from that of *Sorex*. The four species from which the karyotype was obtained had a diploid chromosomal number (2n) greater than 26. The chromosomal complement of *Cryptotis magnus* was different from that of *C. mexicanus* in number and morphology. These chromosomal differences are accompanied by notable morphological

differences. The chromosomal complement of *Sorex veraepacis mutabilis* differed from *S. ventralis* in number, but not in morphology. *S. v. mutabilis* had 40% more chromosomes than *S. ventralis*.

The discriminant analysis between species from *Sorex* and *Cryptotis* allowed identifying the most important variables to differentiate between the species. The analysis of variance showed significant differences between the corporal and cranial variables of *C. g. machetes*, *C. g. goldmani* and *C. peregrinus*, as well as between localities of *C. mexicanus*. Also, significant differences were found between *Sorex ventralis* and *S. veraepacis mutabilis*, as well as between *S. ventralis* and *S. v. veraecrucis*, and among the localities of all species. Important differences were found between the four localities of *S. v. mutabilis*. According to morphological analyzes, the main characteristics to differentiate between this group of species belong mainly to the mandible. The results also showed significant morphological differences between the subspecies *C. g. goldmani* and *C. g. machetes*. The morphological differences observed between populations of *C. mexicanus* and *S. v. mutabilis* resulted in new morphotypes for the species, this implies that these taxa require a more detailed review.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Variación morfológica de los mamíferos pequeños: las musarañas

Las musarañas son un grupo de pequeños mamíferos en el cual es difícil distinguir entre especies (Choate, 1970; Carraway, 2007). Las musarañas (Soricidae) son la familia con la mayor riqueza de especies (685) del orden Eulipotyphla (Wilson y Reeder, 2011; GBIF, 2019), el cual también incluye a los topos (Talpidae), erizos (Erinacidae) y solenodones (Solenodontidae). Se distribuyen en África, América, Asia y Europa desde el nivel del mar hasta 4000 m de altitud (Symonds, 2005; GBIF, 2019). Estos mamíferos pequeños forman parte importante de redes tróficas como consumidores de insectos, moluscos y anélidos, así como alimento de búhos, águilas, halcones y lechuzas. (Ryszkowski, 1975; Gaines y McClenaghan, 1980).

La familia Soricidae es un grupo monofilético, que incluye tres subfamilias Crocidurinae, Myosoricinae y Soricinae (Beck et al. 2006, Zhang, 2011). En el Continente Americano Soricinae se encuentra desde Alaska hasta Perú. En México se reconocen tres tribus pertenecientes a la subfamilia Soricinae: Notiosoricini, Soricini y Blarinini. Notiosoricini incluye a los géneros *Megasorex* y *Notiosorex*, Soricini se compone de *Sorex*, mientras que Blarinini está representada por *Cryptotis* (Carraway 2007).

Sorex (19 especies) y *Cryptotis* (16) son los taxones de Soricidae con mayor riqueza de especies en México (Guevara et al. 2015; ITIS, 2019). Se considera que *Sorex* (musarañas de cola larga) es el taxón más tempranamente divergente entre las musarañas vivientes (Repenning, 1967; Dubey et al. 2007). En México, *Sorex* se distribuye de forma discontinua en varias provincias biogeográficas con bosque de pino, encino, tropical, mesófilo de montaña y matorral de Baja California a Chiapas, entre 0 y 4550 m de altitud

(Carraway, 2007). Morfológicamente, *Sorex* se caracteriza por el largo de su cola que es \geq al 40% de la longitud corporal. Posee 32 dientes pigmentados, de ellos 10 son unicúspides. El pelaje varía entre gris, café y rojo en tonos oscuros y claros (Hall, 1981; Carraway, 2007).

El género *Cryptotis* (musarañas de orejas pequeñas) se distribuye a partir de los 0 m y hasta casi 4000 m de altitud, y está asociado principalmente a áreas con bosques de coníferas, de encino, bosques mesófilos de montaña y selvas tropicales. En México se encuentra desde Coahuila hasta la Península de Yucatán (Carraway, 2007; Guevara y Cervantes, 2014). Morfológicamente se caracteriza por el tamaño corporal mediano a grande, el rostro cónico y moderadamente alargado (Fig. 1). El largo de la cola es \leq 40% de la longitud corporal. Presenta 30 dientes pigmentados que incluyen 6-8 unicúspides (Carraway, 2007). La coloración del pelaje varía de gris a café oscuro (Choate, 1970; Hall, 1981).

2. ANTECEDENTES

2.1 Variación morfológica del género *Sorex*

La variación morfológica en *Sorex* ha sido descrita anteriormente. Matson y Ordoñez-Garza (2017) dividieron parte de *Sorex* del Centro y Sur de América en dos grupos. El grupo *Sorex salvini* que se caracteriza por presentar foramen y canal postmandibular y pelaje color marrón, compuesto por *S. mccarthyi*, *S. salvini salvini* (antes *Sorex saussurei salvini*, Woodman, 2018), *S. saussurei cristobalensis* (*S. cristobalensis*, Matson y Ordoñez-Garza, 2017; *S. salvini cristobalensis*, Woodman, 2018), *S. sclateri* y *S. stizodon*. Y el grupo *Sorex veraepacis*, que no presenta foramen ni canal postmandibular e incluye a *S. chiapensis*, *S. ibarraí*, *S. madreñensis* y *S. veraepacis*. Por su parte, Woodman

(2018) incluye también al grupo *Sorex saussurei*, el cual comprende a *S. altoensis*, *S. mediopua* y *S. saussurei*, así como al grupo *Sorex veraecrucis* que incluye a *S. ixtlanensis* y *S. veraecrucis*.

La notable variación morfológica en el grupo *Sorex salvini* ha promovido la descripción y redesccripción de especies y subespecies. Las subespecies propuestas de *S. saussurei* para México (*S. s. veraecrucis*, *S. s. oaxacae* y *S. s. cristobalensis*) implicaron diferencias dentales y en la coloración del pelaje (Jackson, 1925; Jackson, 1928). Dichas subespecies se distribuyen entre diferentes áreas biogeográficas y florísticas de México. Esto sugiere que la heterogeneidad ambiental y la historia desempeñan un rol básico en el mantenimiento de esta variabilidad (Venditti et al. 2011; Via et al. 1995).

Carraway (2007) desafió la propuesta de Jackson (1925) y distinguió a *S. saussurei* como especie monotípica propia de la Faja Volcánica Transmexicana. Además, diferencias en la posición y pigmentación de los dientes sirvieron para distinguir de entre antiguos ejemplares de *S. saussurei* a una nueva especie, *S. mediopua* de la Faja Volcánica Transmexicana. *Sorex veraecrucis veraecrucis* (anteriormente *S. saussurei veraecrucis*) se elevó a especie al encontrarse diferencias morfológicas como una mayor longitud de la cola y un cráneo más grande, así como menor anchura interorbital. Por orden de prioridad se reconoció a las subespecies de *S. saussurei* como *S. veraecrucis cristobalensis* y *S. veraecrucis oaxacae*, mientras que las diferencias en espacios interdentes y pigmentación dental apoyaron el reconocimiento de una nueva subespecie, *S. veraecrucis altoensis*, de amplia distribución en México.

Estas modificaciones propuestas por Carraway (2007) no han sido completamente aceptadas. De acuerdo con Woodman *et al.* (2012) es probable que *S. veraecrucis* y *S. saussurei salvini* sean conespecíficas ya que la provincia biogeográfica donde se distribuye

S. veraecrucis cristobalensis se extiende hasta Guatemala donde coincide con *S. saussurei salvini*. En tal caso el nombre *S. salvini* tiene prioridad. Esta sospecha coincide con la propuesta de Ramírez-Pulido *et al.* (2014), quienes sospechan que *S. veraecrucis* y *S. salvini* son una misma especie y redirigen los nombres subespecíficos *veraecrucis*, *oaxacae*, *cristobalensis* y *altoensis* a *S. salvini*.

Por otro lado Matson y Ordóñez-Garza (2017) distinguieron morfológicamente a *S. cristobalensis* y *S. veraecrucis* como especies mexicanas distintas y a *S. salvini* como una especie propia de Guatemala.

Las diferencias entre especies forman parte de un debate abierto, y todavía no se conoce bien la variación morfológica intraespecífica y entre especies mexicanas de *Sorex*. En cuanto a dimorfismo sexual secundario, un estudio anterior no mostró diferencias entre sexos de una especie mexicana de *Sorex*, aunque sí hay diferencias en otras especies del género (Poroshin *et al.* 2010).

2.2 Variación morfológica del género *Cryptotis*

Las especies de *Cryptotis* también muestran gran variación morfológica. Con base en la variación de los caracteres craneales, *Cryptotis* se ha dividido en los grupos *C. thomasi*, *C. parvus*, *C. nigrescens* y *C. mexicanus* (Choate, 1970; Woodman y Timm, 1993; 1999).



Figura 1. Musaraña *Cryptotis mexicanus*. Fotografía: Edwin G. Batalla González.

El grupo *Cryptotis mexicanus* es el más diverso del género, con varias especies similares morfológicamente. Por esta razón la delimitación entre algunas de las especies ha sido complicada (Choate, 1970; Woodman y Timm, 2000; Carraway, 2007; Guevara y Sánchez-Cordero, 2018). La característica principal de este grupo es el agrandamiento de las extremidades anteriores (Woodman y Timm, 1999; Woodman y Morgan, 2005). Los análisis morfológicos han demostrado que las estructuras más informativas para distinguir entre especies en el grupo *C. mexicanus* son el cráneo y el húmero (Woodman y Timm, 1993; 2000). Estos análisis también han dado como resultado la descripción y redescrición de especies y subespecies dentro del grupo.

Merriam (1895) describió a *Blarina mexicana peregrina* como nueva subespecie, similar a *B. mexicana* en tamaño corporal y coloración del pelaje, pero diferentes en la anchura del rostro y algunos caracteres dentales, pero sin compararla con *B. mexicana goldmani*. Choate (1970), la nombró *Cryptotis mexicana peregrina*, y la describió con pies y garras anteriores más grandes que *C. m. mexicana*, coloración ventral más clara y dimensiones craneanas y externas mayores.

Después de una nueva evaluación morfológica, Woodman y Timm (1999) propusieron como especie a *Cryptotis peregrinus*. Posteriormente reconocieron a *C. phillipsi* como especie distinta de *C. peregrinus* por el tamaño del cráneo, del húmero y de las uñas de las extremidades anteriores (Woodman y Timm, 2000). Incluyeron a *C. peregrina* en el subgrupo *Cryptotis goldmani* y la describieron como la especie con la cabeza y cuerpo más pequeños, pero con cola relativamente más larga y placa cigomática más estrecha. En 2007 Carraway distinguió a *C. peregrinus* de *C. mexicana* por la posición de 4° diente unicúspide, obscurecido o no visible en vista lateral y la longitud del paladar, y la diferenció de *C. goldmani* por la longitud de la uña media de la extremidad anterior.

No hay más estudios enfocados en conocer la variación morfológica entre *C. peregrinus* y *C. goldmani*, pero Woodman y Timm (1999; 2000) presentaron medidas corporales y craneales obtenidas de ejemplares de ambas especies. Estas medidas en apariencia no revelan grandes diferencias morfológicas. Estudios recientes muestran que *C. goldmani* y *C. peregrinus* tienen una distancia genética muy pequeña (1.4 a 1.7%; Guevara y Cervantes, 2014; Baird *et al.* 2018). Esto ha derivado en la hipótesis de que *C. goldmani* y *C. peregrinus* son conespecíficas (Guevara, 2015). Es probable que un estudio morfológico que incorpore un mayor número de variables pueda ayudarnos a conocer las diferencias entre ambos taxones y ayudar a resolver la cuestión de si son o no una sola especie.

Dos taxones de los que no se tiene certeza sobre su estado taxonómico desde hace mucho tiempo son *C. goldmani goldmani* y *C. goldmani machetes*. Merriam (1895) describió a *Blarina mexicana goldmani*, de Guerrero, y *B. mexicana machetes*, de Oaxaca, como subespecies. Esta distinción se apoyó en la lejanía de las localidades tipo, así como en diferencias dentales, de coloración del pelaje, tamaño del cuerpo y la bóveda craneal.

Merriam (1895) describió a un ejemplar de Cerro Zempoaltepetl, Oaxaca como nueva especie *B. fossor*, similar a *B. alticola* en tamaño, pero con garras delanteras grandes, con el pelaje más oscuro y diferencias en los dientes molariformes.

Jackson (1933) describió a *Cryptotis guerrerensis*, de Omiltemi, Guerrero, como una nueva especie, similar en color del pelaje a *C. mexicana goldmani*, aunque con pies y cráneo más grandes y rostro más ancho que *C. m. goldmani*. Choate (1970) concluyó que todos estos organismos nombrados especies y subespecies diferentes, fueron el resultado de la falta de comparaciones entre los ejemplares colectados en Guerrero y Oaxaca.

Por lo tanto, para Choate (1970) *Blarina mexicana goldmani*, *B. m. machetes*, *B. fossor*, *Cryptotis frontalis* (Miller, 1911), *C. mexicana goldmani* (Miller, 1912), *C. m. machetes* (Miller, 1912), *C. fossor* (Miller, 1912), *C. guerrerensis* (Jackson, 1933) y *C. m. mexicana* (Jones y Genoways, 1967) son sinónimos de *C. goldmani*.

Posteriormente, Woodman y Timm (1999; 2000) siguen a Choate (1970) y reconocen a *C. goldmani* como monotípica. Sin embargo, Carraway (2007) distinguió entre los ejemplares de *C. goldmani* a dos subespecies: *C. goldmani goldmani* y *C. g. machetes* de Guerrero y Oaxaca respectivamente; esto con base en diferencias en el tamaño de la uña media de las extremidades anteriores y la coloración del pelaje.

Guevara y Cervantes (2014) realizaron un análisis filogenético que incluyó sólo a *C. goldmani* de Guerrero. De modo que todavía no se sabe si hay diferencias genéticas importantes entre las subespecies de *C. goldmani* reconocidas por Carraway (2007).

Cryptotis magnus es otra especie de la cual aún no se tiene certeza de su posición taxonómica. *C. magnus* ha sido clasificada como relictos, por sus particulares características morfológicas y hasta hace algunos años se consideraba que no tenía relación taxonómica con las especies conocidas del género *Cryptotis* (Choate 1970). Actualmente forma parte

del grupo *C. mexicanus*, pero anteriormente Woodman y Timm 1993 la incluyeron dentro del grupo *C. nigrescens*, aunque los autores no aportaron evidencia morfológica que apoyara esta hipótesis. Posteriormente Woodman (2005), describió a *C. magnus* como una especie cercanamente relacionada al grupo de especies *C. mexicanus*, como resultado de una revisión morfológica. Y en 2010, después de un análisis morfológico más detallado, concluyó que *C. magnus* representaba un linaje basal en la filogenia de este grupo de especies.

En 2014 Guevara y Cervantes llevaron a cabo un análisis molecular más detallado de las especies incluidas en el grupo *C. mexicanus*. Ellos encontraron que *C. magnus* es un grupo hermano de *C. phillipsii*, y mostraron que la distancia genética entre estas dos especies es menor que la distancia entre *C. magnus* y el resto de las especies analizadas. Por lo tanto *C. magnus* comparte una historia evolutiva con el grupo *C. mexicanus* y por ello si pertenece a este grupo. Estudios moleculares y morfológicos posteriores apoyan esta conclusión (He et al. 2015, Baird et al. 2018; Mayen-Zaragoza et al. 2019).

Sin embargo y a pesar de esta evidencia sólida, no se descarta la posibilidad de que incluir a *C. magnus* en el grupo *C. mexicanus* sea una decisión apresurada (Guevara y Cervantes, 2014), ya que existen diferencias morfológicas importantes entre *C. magnus* y el resto de las especies (Woodman, 2010, Mayen-Zaragoza, et al. 2019).

En los últimos 20 años se han realizado análisis enfocados en conocer la variación morfológica del cráneo y extremidades anteriores en *Cryptotis*. Esto ha permitido reconocer caracteres que pueden ayudar a resolver el estado taxonómico de las especies. Entre ellas destacan la longitud cóndilobasal, la anchura de la placa cigomática y la longitud de la mandíbula como variables importantes de acuerdo con varios estudios (Ramírez-Pulido et al. 2004; Woodman y Timm, 1999, Woodman, 2011; Guevara y Sánchez-Cordero, 2018).

Además de estos antecedentes morfológicos enfocados en conocer las características morfológicas de las especies y la variación entre ellas, algunos estudios se han centrado en conocer la variación morfológica entre sexos de *C. mexicanus*, *C. nigrescens* y *C. gracilis*. En estos estudios se ha encontrado que la variación entre machos y hembras es prácticamente nula (Choate, 1970; Woodman, 1992; Woodman y Timm, 1993).

Al menos nueve de las especies involucradas en esta discusión taxonómica se distribuyen en las zonas montañosas del estado de Oaxaca, al sur de México (Carraway, 2007).

2.3 Estudios sobre el cariotipo de las musarañas

Las especies no siempre se pueden distinguir con base en características morfológicas debido a su gran similitud, de modo que muchas veces son necesarios los análisis genéticos. Tales análisis proporcionan una visión complementaria del grado de diferenciación entre taxones, contribuyendo así conocer más sobre su historia evolutiva, y a poder delimitar de especies y subespecies (e.g., Esteva et al. 2010; Jacquet et al. 2012; Guevara et al. 2014; He et al. 2015). Una herramienta genética que ha demostrado su utilidad e importancia en esta tarea es la caracterización de los cariotipos.

El cariotipo es la representación del patrón cromosómico de un conjunto de individuos de la misma especie. Este se establece a partir del número de cromosomas presentes en la célula al momento de la división. A este número se le denomina $2n$ (diploide) si proviene de una célula somática o n (haploide) si proviene de un gameto. Además del número, en un cariotipo también se describe la morfología cromosómica, la cual depende de la posición del centrómero en cada cromosoma y el número de brazos, con lo cual también se establece el número fundamental (NF; Levan et al. 1964).

El arreglo cromosómico de los individuos de una población puede indicar su potencial para entrecruzarse y producir descendencia fértil, así como su potencial para reproducirse con individuos de otras poblaciones. Uno de los muchos estudios que muestran la relevancia de la caracterización de cariotipos en el quehacer taxonómico es el de Baker (1984). Dicho autor describió una nueva especie de murciélago, *Rhogeessa genowaysi* ($2n = 42$), a partir de la caracterización del cariotipo, de lo que hasta entonces se pensaba, era una sola especie (*R. tumida*, $2n = 30, 32, 34$ y 52). *Rhogeessa genowaysi* y *R. tumida* ($2n = 34$) son morfológicamente muy similares y además tienen distribución simpátrica.

El cariotipo de algunas musarañas de los géneros *Blarina*, *Crocidura*, *Notiosorex* y *Sorex* ha sido caracterizado anteriormente (Reumer y Meylan, 1986). Las especies pertenecientes al género *Sorex* se han estudiado ampliamente en la Región Paleártica (Zima et al. 2000). Los datos obtenidos muestran que la mayoría de las especies Paleárticas de *Sorex* presentan entre 20 y 42 cromosomas, mientras que las especies Neárticas tienen de 52 a 66 (Searle y Wójcik, 1998). La musaraña común europea *S. araneus* es la especie con el cariotipo mejor conocido. Hasta el momento se han descrito 3 tribus y 68 razas cromosómicas (Searle y Wilkinson, 1987; Wójcik et al. 2003; Polly et al. 2013). Esto también sucede con las musarañas del género *Crocidura* en Asia (Biltueva et al. 1999; Biltueva, 2001; Motokawa et al. 2001).

En contraste, el cariotipo de las musarañas distribuidas en el Continente Americano es menos conocido y en México el conocimiento es nulo. Genoways y Choate (1972) consideraron a *Blarina brevicauda* y *B. carolinensis* como especies distintas según sus características morfológicas. Ambas especies tienen áreas de distribución sobrepuestas en Nebraska, EUA. Posteriormente Genoways et al. (1977) apoyó esta distinción al reportar el

cariotipo de *Cryptotis parva* ($2n = 52$; $NF = 50$), de *B. brevicauda* ($2n = 49$ ó 50 ; $NF = 48$) y *B. carolinensis* ($2n = 52$; $NF = 62$). Finalmente George et al. (1982) caracterizaron el cariotipo de dos subespecies, *B. brevicauda brevicauda* y *B. b. carolinensis*. Ellos encontraron cuatro grupos cromosómicos asociados a la distribución geográfica de *Blarina*. También, concluyeron que los cariotipos encontrados apoyan la hipótesis de que *B. brevicauda* y *B. carolinensis* son especies distintas.

Del centro y sur de Estados Unidos se conocen los cariotipos de 5 especies de *Sorex*, las cuales tienen un número diploide que varía de 32 a 54 (Carraway, 1985; Searle y Wójcik, 1998; Rausch y Rausch, 2004). Las especies *S. merriami* y *S. trowbridgii*, con 32 y 34 cromosomas respectivamente, están más relacionadas filogenéticamente entre ellas, que con las especies *S. ornatus*, *S. pacificus* y *S. vagrans*. Estas últimas, con 54 cromosomas cada una, están cercanamente relacionadas (Esteva et al. 2010).

En el cuadro 1 se presentan los datos cariotípicos conocidos de algunas especies de musarañas. La mayoría de las especies de los géneros *Blarina*, *Cryptotis* y *Sorex* tiene un número cromosómico diploide de entre 32 y 54. Los casos extremos conocidos son *Crocidura watasei* con 26 cromosomas y *Notiosorex crawfordi* que tiene 62 cromosomas. En casi todas las especies la mayor parte del complemento cromosómico es acrocéntrico.

Bajo este contexto, es de esperar que las musarañas del género *Cryptotis* y del género *Sorex* que se distribuyen en México tengan características cromosómicas similares en número y morfología a las ya reportadas. Además, contar con esta información contribuiría a la tarea de distinguir entre especies.

2.4 Las musarañas de Oaxaca

El estado de Oaxaca, al sur de México, es reconocido como el estado con la mayor diversidad de mamíferos. Ahí se distribuyen 14 especies de musarañas, de las cuales al menos 9 se han reportado en región de la Sierra Norte (Carraway, 2007, Briones-Salas et al. 2015). Esto convierte a Oaxaca en el estado con mayor diversidad de musarañas.

Como se discutió anteriormente, entre algunas de estas especies se han observado importantes similitudes morfológicas y algunas de las especies se encuentran en un conflicto taxonómico. Por ello se considera necesario realizar un análisis cariotípico y morfológico de algunas de las especies de musarañas distribuidas en Oaxaca, con el fin de generar información que ayude a resolver dichos conflictos.

Cuadro 1. Arreglo cromosómico de especies de musarañas de los géneros *Crocidura*, *Suncus*, *Blarina*, *Sorex* y *Cryptotis*. 2n = número diploide; M = cromosomas metacéntricos; SM = cromosomas submetacéntricos; ST = cromosomas subtlocéntricos; A = cromosomas acrocéntricos; X = morfología del cromosoma sexual femenino; Y = morfología del cromosoma sexual masculino; NF = número fundamental.

Especie	2n	M	SM	ST	A	X	Y	NF	Referencia
<i>Crocidura suaveolens</i>	40							50	
<i>C. dsinezumi</i>	40							56	Biltueva <i>et al.</i> 2001
<i>C. watasei</i>	26							56	
<i>Suncus murinus</i>	40							56	
<i>Blarina brevicauda</i>	48-50	--	--	--	48-50	M	A	48	George <i>et al.</i> 1982
<i>B. carolinensis</i>	52	--	4	8	38	M	A	62	
<i>B. carolinensis minima</i>	34-40							41-45	George <i>et al.</i> 1982
<i>B. carolinensis peninsulae</i>	50-52							52	
<i>B. hylophaga</i>	52	---	4	8	38	M	A	60-62	
<i>Sorex trowbridgii</i>	34	2	4		26				Rausch y Rausch, 2004
<i>S. merriami</i>	32	2	2		26			34	Carraway, 1985
<i>S. pacificus</i>	54	6			46			58-59	
<i>S. ornatus</i>	54	--							Owen y Hoffmann, 1983
<i>S. vagrans</i>	54	4	4	--	42	--	--		Volobouev y Jong, 1994
<i>S. haydeni</i>	64					SM	SM	66	
<i>S. cinereus</i>	66	2			62	SM	ST	70	Smith y Belk, 1996 Wójcik <i>et al.</i> 2003
<i>S. monticolus</i>	54	4							
<i>S. araneus</i>	40-50								
<i>Cryptotis parva</i>	52								Genoways <i>et al.</i> 1977

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Si bien los análisis morfológicos y moleculares han ayudado a comprender mejor la posición taxonómica e historia evolutiva de las musarañas, la delimitación de especies sigue siendo problemática debido a la similitud morfológica entre algunas especies. Un factor que podría dificultar el estudio taxonómico de las especies, es el hecho de que en algunos estudios se ha usado un conjunto limitado de variables morfológicas supuestamente informativas, pero no en todos los estudios hay un consenso sobre que variables deben ser medidas. Por lo que es probable que haya otras variables informativas que no se están tomando en cuenta. Esto plantea la interrogante de si la dificultad para delimitar especies de musarañas se debe, al menos en parte, al uso de un conjunto pequeño y variable de características morfológicas. Una herramienta útil para la diferenciación de especies, complementaria a los análisis morfológicos y moleculares es la caracterización de los cariotipos. Si bien los cariotipos de algunas musarañas han sido estudiados, aún no se conoce el cariotipo de las especies de musarañas mexicanas. Con el objetivo de generar información sobre la variación morfológica y cariotípica algunas musarañas mexicanas que apoye en esta labor taxonómica, se diseñó este trabajo de investigación cuyas preguntas centrales son: ¿Cuál es la magnitud de la variación morfológica entre especies selectas de *Cryptotis*, así como entre especies selectas de *Sorex* que se distribuyen en el estado de Oaxaca? y ¿Cuál es el cariotipo de estas especies de *Cryptotis* y de *Sorex*?

4. HIPÓTESIS

- 1- Las musarañas tienen un número diploide que varía entre 26 y 54 cromosomas. La variación en este arreglo cromosómico puede ser mayor entre géneros que entre especies del mismo género. Por lo tanto, se espera encontrar más diferencias cromosómicas entre los géneros *Sorex* y *Cryptotis* que entre las especies pertenecientes al mismo género.
- 2- El cariotipo conocido de algunas especies de *Sorex* presentes en el Continente Americano varía entre 32 y 54 cromosomas. Dado que el número más común es 54, se espera que las especies analizadas en este estudio presenten un cariotipo similar.
- 3- Prácticamente, no hay evidencia de diferencias morfológicas entre hembras y machos en *Cryptotis* y *Sorex*, por lo que no se espera encontrar diferencias morfológicas entre sexos.
- 4- La distancia genética conocida entre *Cryptotis goldmani* y *Cryptotis peregrinus* es muy pequeña y se sabe que son similares morfológicamente, por ello no se espera encontrar grandes diferencias morfológicas.

5. OBJETIVOS

Para responder a las preguntas de investigación se plantearon los siguientes objetivos principales:

- Caracterizar el cariotipo de especies selectas de musarañas de los géneros *Cryptotis* y *Sorex*, distribuidas en Oaxaca.
- Determinar la magnitud de la variación morfológica intraespecífica e interespecífica de las especies de musarañas seleccionadas, a partir de caracteres morfológicos externos, craneales y postcraneales.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con los objetivos de esta investigación fue necesaria la colecta de musarañas.

6.1 Área de colecta

El área de colecta de ejemplares de musarañas está cerca de El Punto, un pueblo que pertenece al municipio de Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca (figura 14). Esta área se eligió por su proximidad con Ixtlán de Juárez, donde se conoce la presencia de musarañas (Carraway, 2007). De acuerdo con la información extraída de las capas de datos bioclimáticas WorldClim BIO1 y BIO12 (Hijmans et al. 2005), la temperatura promedio anual en la zona es de 12.8 °C y la precipitación total anual es de 1299 mm. El clima es templado subhúmedo. El sustrato geológico se compone de rocas sedimentarias cubiertas por suelo de tipo cambisol (INEGI, 2013). El bosque en este sitio es un encinar dominado por *Quercus* aff. *laurina* (Zacarías-Eslava y del Castillo, 2010).

6.2 Ubicación de las unidades de muestreo

Entre julio y agosto de 2017 se hicieron dos salidas a campo para la colecta. En la primera salida se colocaron ciento ochenta trampas de caída libre o “pitfall” en áreas inclinadas y con bordes. Las trampas se dividieron en grupos de cinco, con una separación de *ca.* un metro por trampa. Cada grupo de trampas estuvo a una distancia de *ca.* cinco metros. En la segunda salida se colocaron ciento veinte trampas en áreas inclinadas y con bordes. Las trampas se dividieron en grupos de diez, con una separación de *ca.* un metro por trampa. La distancia entre cada grupo de trampas fue de *ca.* diez metros. En ambas salidas, las trampas se revisaron cada cinco o seis horas con el fin de encontrar a las musarañas vivas. La manipulación de los ejemplares siguió los métodos de la American Society of Mammalogists (Sikes et al. 2016). La identificación taxonómica se hizo con guías especializadas (Carraway, 2007) y por comparación con ejemplares de la Colección Nacional de Mamíferos. De los individuos colectados se obtuvieron cinco medidas convencionales, el peso, el sexo, y el estado reproductivo cuando fue posible. Y se prepararon como ejemplares de museo siguiendo las técnicas de Hall (1981). Las pieles, tejidos y esqueletos fueron depositados en la Colección Nacional de Mamíferos (CNMA). La colecta de musarañas se llevó a cabo con el permiso de colecta FAUT-0002 expedido por la Dirección General de Vida Silvestre al Dr. Fernando A. Cervantes Reza.

6.3 Obtención de cariotipo

Los cromosomas en metafase, de células de médula ósea de las musarañas colectadas, se obtuvieron siguiendo la técnica modificada de Patton (1967). Para obtener las muestras de médula ósea se le dio prioridad al procesamiento de los organismos colectados recién

mueritos, seguidos de los ejemplares colectados vivos. Las muestras se procesaron en campo hasta la etapa de fijación. Luego se llevaron al laboratorio para el montaje y análisis. El análisis de los campos metafásicos (campos con cromosomas) para la determinación del número diploide y número fundamental se realizó con la ayuda de un fotomicroscopio Zeiss. Las fotografías de los mejores campos metafásicos se tomaron con un fotomicroscopio Zeiss y el software ZEN. A partir de estas fotografías se hizo la caracterización morfológica de los cromosomas siguiendo los criterios de Levan et al. (1964) y posteriormente la definición de los cariotipos.

6.4 Revisión de ejemplares de museo

Esta investigación requirió una revisión morfológica de ejemplares de musarañas mexicanas depositados en los siguientes museos: American Museum of Natural History (AMNH) en Nueva York y National Museum of Natural History; Smithsonian Institution (USNM) en Washington D.C. Estados Unidos.

Para controlar la inclusión de variación morfológica debida a la edad, únicamente se examinaron ejemplares adultos. Se midieron 208 cráneos en total, de ellos sólo las medidas de 201 se utilizaron en el análisis morfológico. Además de medir ejemplares colectados en Oaxaca de las especies *Cryptotis mexicanus* (41), *Cryptotis magnus* (32), *Sorex ventralis* (34) y *Sorex veraepacis mutabilis* (40), también se midieron otras especies colectadas en Oaxaca, Guerrero y Puebla (localidades en las figuras 2 y 3), para compararlas morfológicamente. Las especies fueron *Cryptotis peregrinus* (22), *C. goldmani goldmani* (11), *C. goldmani machetes* (12), *Sorex veraecrucis altoensis* (8) y *S. veraecrucis veraecrucis* (7; lista de ejemplares en el Anexo 1).

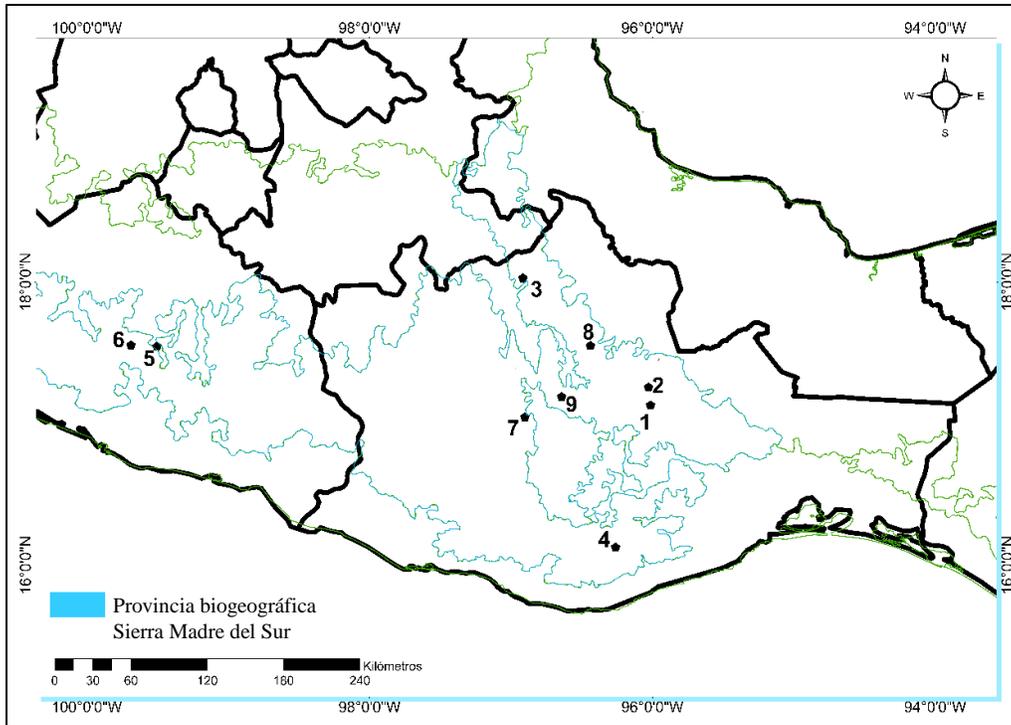


Figura 2. Mapa de las localidades de colecta de especies de *Cryptotis* analizadas en este estudio. 1= Cerro Zempoaltepetl, 2= Totontepec, 3=Los Reyes, 4= Ozolotepec 5= Omilteme, 6= Chilpancingo, 7= Loc. 15 mi W de Oaxaca, 8= La Esperanza, Santiago Comaltepec y 9= Santa Catarina Ixtepeji.

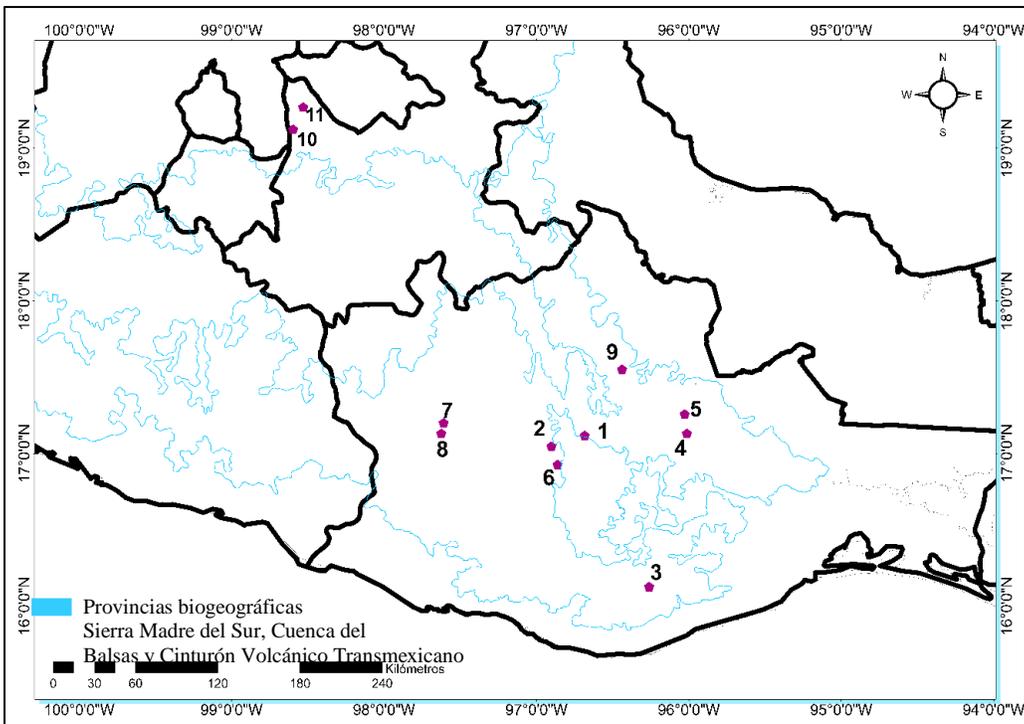


Figura 3. Mapa de las localidades de colecta de especies de *Sorex* analizadas en este estudio. 1= Cerro San Felipe, 2= Loc. 15 mi W de Oaxaca, 3= Ozolotepec, 4= Cerro Zempoaltepetl 5= Totontepec, 6= Santa Inés del Monte, 7= Llano del Toro, 8= Peña Blanca, 9= Santiago Comaltepec, 10= Parque Nacional Izta-Popo y 11= San Martín Texmeluca.

6.5 Datos morfológicos

Cuando fue posible, el peso, el sexo y cuatro variables corporales de los ejemplares de museo (Cuadro 2) se obtuvieron de las etiquetas. Cada ejemplar se examinó con un calibrador digital (aproximación 0.01 mm) y microscopio estereoscópico, para obtener una variable de la mano derecha y treinta (para *Cryptotis*) o treinta y uno (para *Sorex*) variables de cráneo (Cuadro 2; Fig. 4). La nomenclatura que identifica a estas variables morfológicas se presenta en el cuadro 2 y sigue el estándar usado en trabajos anteriores (e.g., Woodman y Timm, 1999; 2000; Carraway, 2007). En total se estimaron 35 mediciones lineales de 117 especímenes de *Cryptotis* y 36 mediciones de 83 ejemplares de *Sorex*, para los análisis morfométricos.

Cuadro 2. Caracteres morfológicos corporales, de mano derecha, así como de cráneo usados en este estudio. (Woodman y Timm, 1999; Ramírez-Pulido *et al.*, 2004; Carraway, 2007).

Variables corporales	
Longitud total del cuerpo (LT)	Longitud de la extremidad posterior (LP)
Longitud de la cola (LC)	Longitud de la oreja (LO)
Variables de extremidad anterior	
Longitud de la uña media de la mano derecha (UD)	
Variables de cráneo	
Longitud condilobasal (LOCB)	Longitud del tercer molar superior (LMS3)
Anchura de la caja cerebral (ANCC)	Longitud de la mandíbula (LOMA)
Anchura interorbital (ANCI)	Altura del proceso coronoide (ALPC)
Profundidad del cráneo (PRCR)	Altura del valle coronoide (ALVC)
Anchura de la placa cigomática (APCI)	Longitud del cóndilo articular al extremo posterior del tercer molar (LOCA)
Anchura a través de los primeros unicúspides (AU1)	Altura del cóndilo articular (ALCA)
Anchura a través de los segundos unicúspides (AU2)	Longitud de la hilera mandibular de dientes (LHMA)
Anchura a través de los cuartos unicúspides (AU3) únicamente para <i>Sorex</i>	Longitud de la serie molar mandibular (LOMM)
Anchura maxilar a la altura de los segundos molares (AMAX)	Longitud del primer molar mandibular (LOM1)
Longitud del paladar (LOPA)	Longitud del segundo molar mandibular (LOM2)
Longitud de la hilera maxilar de dientes (LHMD)	Longitud del tercer molar mandibular (LOM3)
Longitud de la serie de dientes molariformes (LOMO)	Longitud del primer canino (LOC1)
Longitud de la serie de dientes unicúspides (LOUN)	Longitud del premolar mandibular (LOPR)
Longitud del premolar (LOPM)	Longitud del incisivo (LOIN)
Longitud del primer molar superior (LMS1)	Longitud del cóndilo articular (LCAR)
Longitud del segundo molar superior (LMS2)	

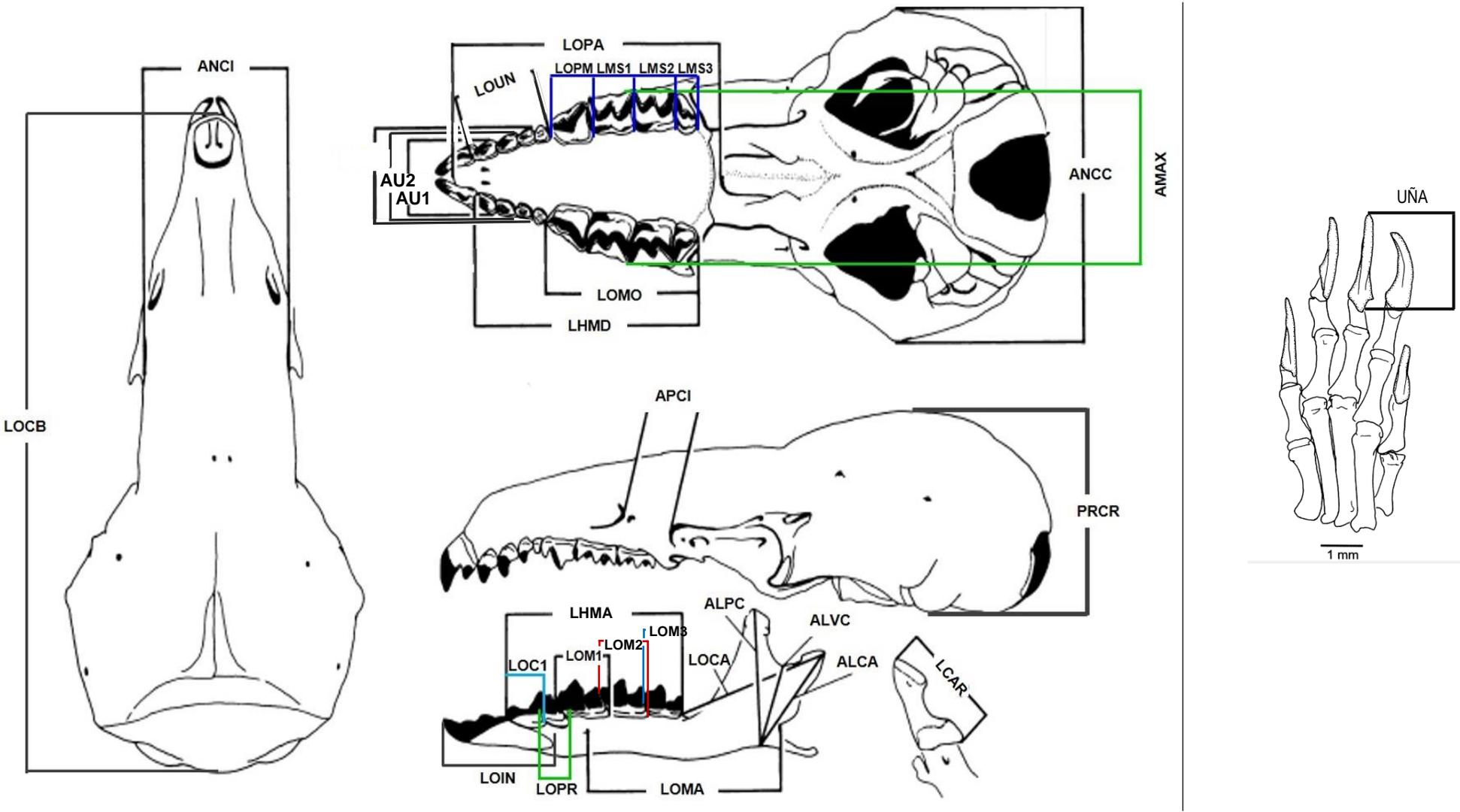


Figura 4. Componentes craneales, mandibulares y de la mano de una musaraña del género *Cryptotis* (modificado de Woodman y Timm, 1999; Woodman y Morgan, 2005).

6.6 Análisis de datos

Se puso a prueba la multinormalidad (prueba de Roystone) y la homocedasticidad (prueba de Levene) del conjunto de datos morfológicos. Cuando éstos no cumplieron ambas condiciones, se transformaron a través de un procedimiento Box-Cox (Sakia, 1992; Smith, 1993). Posterior a este tratamiento se verificaron otra vez la multinormalidad y homocedasticidad.

Las matrices de datos tienen datos faltantes (10%), debido a partes del esqueleto rotas. Para evitar eliminar del análisis individuos con valores faltantes, estos valores se estimaron con un método bayesiano considerado robusto (Arbour y Brown, 2014).

Para cuantificar la magnitud de variación morfológica de cada taxón se calculó el coeficiente de variación ($CV = \text{cociente de la desviación estándar entre la media}$; Zar, 2010) de cada variable morfológica. Para examinar la variación morfológica entre sexos, se calcularon los CV de cada variable, para machos y hembras de cada taxón por separado. Para conocer la variación morfológica a través de la distribución geográfica de las especies, se calcularon los CV de cada variable por localidad de colecta de cada especie.

Para conocer cuáles son las variables que más contribuyen a la distinción entre grupos se usó el análisis lineal discriminante múltiple (LDA). En la aplicación en sistemática, el análisis discriminante múltiple permite detectar cuáles son las mediciones lineales que más contribuyen a la distinción entre grupos, dado que los ejes discriminantes son en la dirección donde existe mayor separación entre promedios de los grupos. Las variables que más varían entre especies se identifican entre las más correlacionadas con los ejes discriminantes, pero solo con los ejes discriminantes que son significativos. Pudiera ser que no todos los ejes discriminantes sean significativos, cuando la proporción F es muy baja. Precisamente por eso se mide la significancia mediante un análisis de varianza multivariado

(MANOVA) asociado al LDA (De Luna, 2020). Se hizo un LDA con intervalos de confianza al 95 % para las cinco especies de *Cryptotis* y otro para las cuatro especies de *Sorex*. Al observarse diferencias entre las especies de *Cryptotis* y de *Sorex* separadas por localidades, se hizo un LDA para conocer las variables que mejor discriminan entre estos.

Para conocer los valores de significancia de los ejes discriminantes se utilizó el análisis multivariado (MANOVA). Los valores de p obtenidos con este procedimiento se ajustaron con el test de Bonferroni para controlar la tasa de falso descubrimiento (rechazar erróneamente una hipótesis nula en varias comparaciones) (ver Betz *et al.*, 2010). Solamente se reportan valores de p que después del ajuste fueron < 0.05 . Para conocer el grado de separación entre los grupos, se calculó la distancia de Manhattan entre sus centroides (ver Loohach y Garg, 2012). Las distancias calculadas se emplearon para la construcción de fenogramas mediante el método de agrupamiento UPGMA.

Los análisis multivariados (LDA y MANOVA) se hicieron en el programa R versión 3.5.1. (Development Core Team, 2018) con los paquetes *car* (Fox, 2016), *Mass* (Ripley, 2018) *multcomp* (Betz *et al.* 2010) y *stats* (Development Core Team, 2019).

7. RESULTADOS

7.1 Colecta y revisión de ejemplares de musarañas

Se colectaron 103 musarañas, que pertenecen a cuatro especies: *Cryptotis mexicanus* (Fig. 5), *Cryptotis magnus*, *Sorex ventralis* y *Sorex veraepacis mutabilis*. Dentro de este conjunto se colectaron 6 hembras lactantes y 3 con embriones de *Cryptotis mexicanus*, y 3 hembras lactantes de *Cryptotis magnus*. También 1 hembra lactante y 3 machos en etapa reproductiva de *Sorex veraepacis mutabilis*. La especie más abundante fue *Cryptotis mexicanus* (72 ejemplares; 26 hembras y 39 machos), seguida de *Cryptotis magnus* (13; 9 y 4), *Sorex veraepacis mutabilis* (12; 4 y 8) y *Sorex ventralis* (6; 2 y 4). *Cryptotis mexicanus* y *Cryptotis magnus* se colectaron en la misma trampa en dos ocasiones. *Sorex ventralis* y *Cryptotis mexicanus* se colectaron en la misma trampa una vez. Asociados a estas especies también se colectaron *Peromyscus aztecus evides*, *Peromyscus difficilis amplus*, *Microtus mexicanus mexicanus* y *Reithrodontomys mexicanus mexicanus*. Las pieles, tejidos y esqueletos de todos los ejemplares recolectados se depositaron en la Colección Nacional de Mamíferos con números de catálogo no consecutivos de 49304 a 49446 (Anexo 1).



Figura 5. Ejemplar de *Cryptotis mexicanus* ♂ adulto, colectado en Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca (CNMA 49317).

Se midieron los cráneos de 208 ejemplares, que en la mayoría de los casos estaban completos, de cinco especies de *Cryptotis*: *Cryptotis mexicanus* (41), *Cryptotis magnus* (32), *Cryptotis peregrinus* (22), *Cryptotis goldmani goldmani* (11), *Cryptotis goldmani machetes* (12), y cuatro especies de *Sorex*: *Sorex ventralis* (34), *Sorex veraepacis mutabilis* (40), *Sorex veraecrucis altoensis* (9) y *Sorex veraecrucis veraecrucis* (7), depositados en tres colecciones biológicas: la Colección Nacional de Mamíferos, el American Museum of Natural History y el Smithsonian Institution, National Museum of Natural History. Las medidas de 201 ejemplares, incluidos los ejemplares tipo se utilizaron en el análisis matemático.

7.2 Cariotipos de *Cryptotis* y *Sorex*

Del total de musarañas colectadas (103), únicamente se procesaron 40 para obtener muestras celulares de medula ósea, repartidas así: 29 *Cryptotis mexicanus*, 5 *Cryptotis magnus*, 2 *Sorex ventralis* y 4 *Sorex veraepacis mutabilis*.

De las muestras celulares de *Cryptotis magnus* se contaron 38 metafases, de éstas sólo 8 se observaron bien dispersas, sin cromosomas empalmados, por lo tanto fueron útiles para el conteo. El cariotipo de *C. magnus* está conformado por 26 cromosomas ($2n=26$, Fig. 6). Este fue el número diploide más frecuente, aunque el intervalo obtenido fue de 26 a 30 cromosomas: 3 metafases con 26 cromosomas, 2 metafases con 27, 1 con 29 y 2 con 30. El número fundamental es 50. Del total de autosomas, al menos 20 son metacéntricas y 6 submetacéntricas (birrámeas), el par de cromosomas sexuales se compone de un grande subteloicéntrico (birrámeo) y un pequeño telocéntrico (monorrámeo; par 13; Fig. 6). La longitud del cromosoma más grande fue de 8.7 μm y la longitud del más pequeño fue de 1.5 μm .

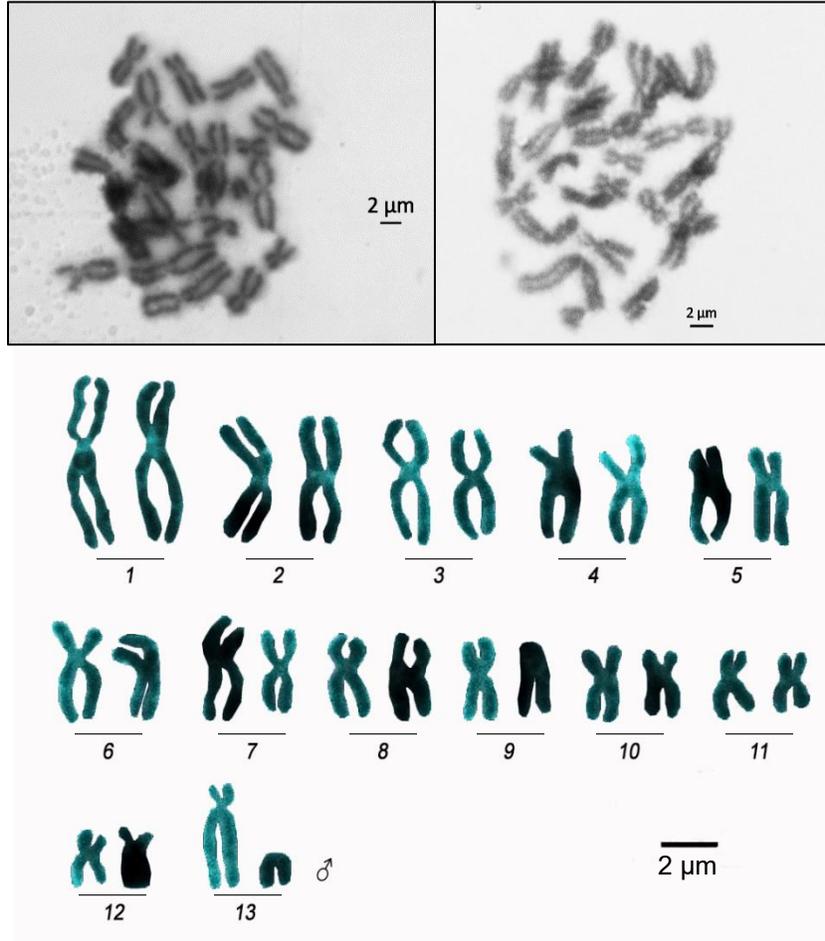


Figura 6. Arriba: metafases de *Cryptotis magnus* macho (CNMA 49306), visto a 100x. $2n=26$ y 27 , $NF=51$ y 53 . Abajo: cromosomas ordenados de *Cryptotis magnus* $2n=26$

En las muestras de *Cryptotis mexicanus* únicamente se encontraron 15 campos metafásicos, de los cuales sólo 4 campos presentaron cromosomas bien dispersos útiles para el conteo. *Cryptotis mexicanus* tiene un número diploide ($2n$) de 54 a 56 cromosomas, el cuál es casi 50% más grande que el encontrado en las muestra de *Cryptotis magnus*. En un campo se contaron 49 cromosomas, en otro campo 54, en otro 55 y 56. No se pudo determinar el número fundamental ya que la morfología de algunos cromosomas no se observó claramente. La mayoría de los cromosomas son telocéntricos (Fig. 7).

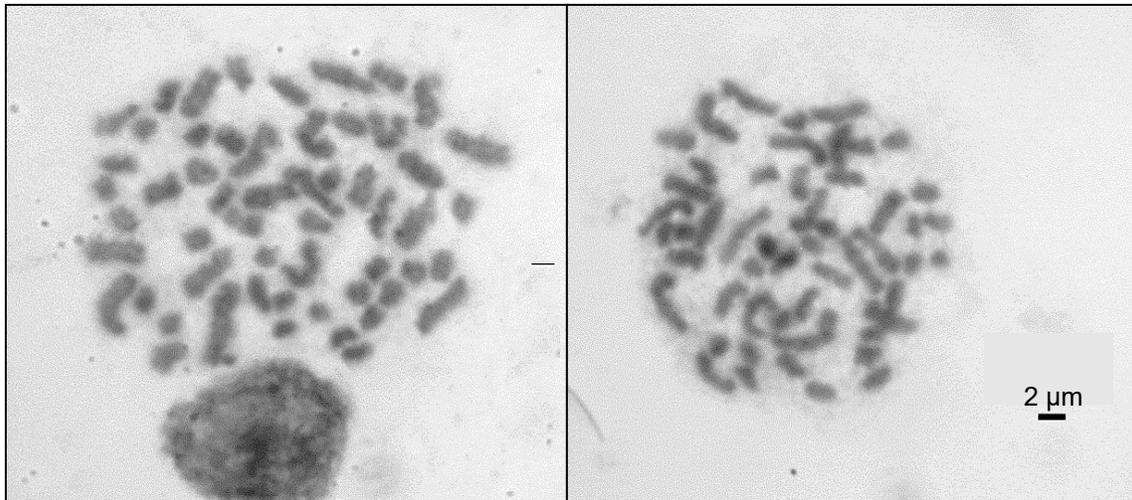


Figura 7. Metafases de *Cryptotis mexicanus* macho (CNMA 49324). Vista a 100x, $2n=56$.

En el análisis de las muestras de *Sorex veraepacis mutabilis* se contabilizaron 32 metafases. Sólo en las muestras de un ejemplar hembra se encontraron 3 metafases que presentaron las condiciones para contar los cromosomas y caracterizarlos morfológicamente. El número diploide ($2n$) fue de 49 en un campo, 52 en otro y 54 en el último; el número fundamental $NF = 51$ a 56 . Todos los autosomas fueron telocéntricos (monorrámeos). Los dos cromosomas grandes submetacéntricos (birrámeos), probablemente corresponden al par sexual (par 24, Fig. 8-b). La longitud del cromosoma más grande fue de $4.7 \mu\text{m}$ y la longitud del más pequeño fue de $0.8 \mu\text{m}$.

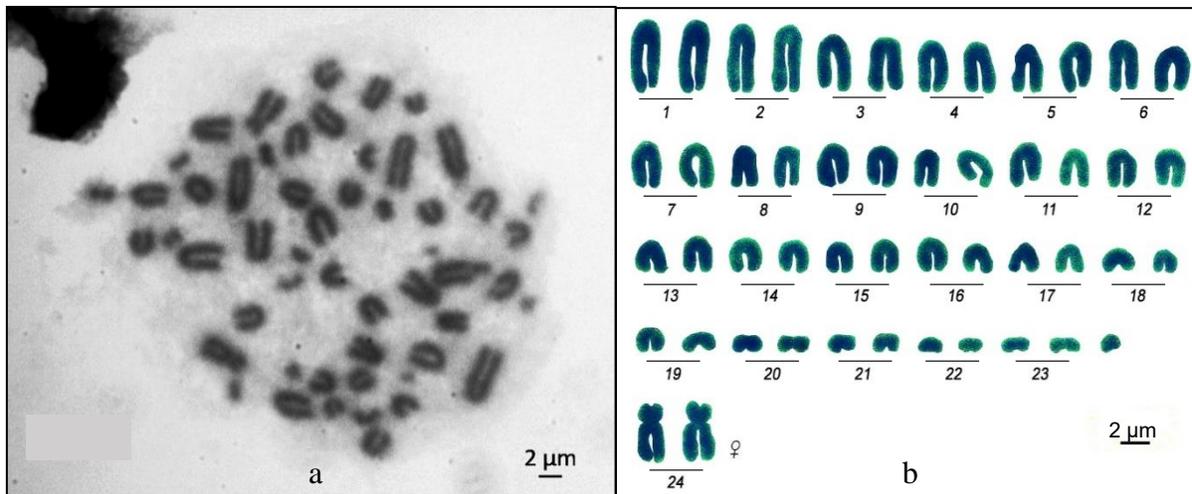


Figura 8. a) metafase de *Sorex veraepacis mutabilis* hembra (CNMA 49395), vista a 100x.
b) cromosomas ordenados de *Sorex veraepacis mutabilis*, $2n=49$

De las muestras de *Sorex ventralis* se contaron 26 metafases en total. Solo dos campos cumplieron con las condiciones para contabilizar los cromosomas claramente. En ambos campos se contabilizaron 34 cromosomas, por ello, se determinó que el cariotipo de *S. ventralis* está conformado por 34 cromosomas. No se pudo determinar el número fundamental. La mayoría de los autosomas son telocéntricos (monorrámeos, Fig. 9). El número diploide de *S. ventralis* es casi 40% menor que el de *Sorex veraepacis mutabilis*.

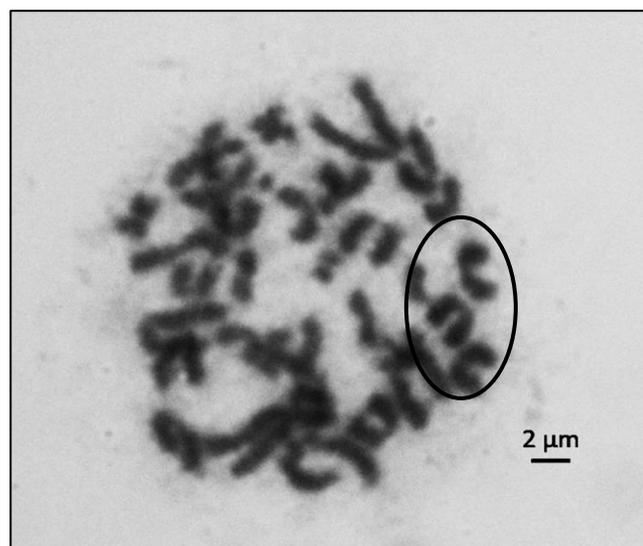


Figura 9. Metafase de un ejemplar de *Sorex ventralis* macho (CNMA 49389), visto a 100x. En el círculo se resaltan cromosomas telocéntricos.

Cryptotis mexicanus y *S. veraepacis mutabilis* tuvieron un complemento

cromosómico similar en número y mayor que *C. magnus* y *S. ventralis* (cuadro 3). Estas dos últimas tuvieron un complemento cromosómico pequeño y similar en número, pero morfológicamente sus cariotipos fueron diferentes.

Cuadro 3. Arreglo cromosómico encontrado en *Cryptotis magnus*, *C. mexicanus*, *S. ventralis* y *S. veraepacis mutabilis*. 2n = número diploide; M = cromosomas metacéntricos; SM = cromosomas submetacéntricos; ST = cromosomas subteloicéntricos; T = cromosomas telocéntricos; X = morfología del cromosoma sexual femenino; Y = morfología del cromosoma sexual masculino; NF = número fundamental.

Especie	2n	M	SM	ST	T	X	Y	NF
<i>Cryptotis magnus</i>	26-30	20	4	---	---	ST	T	52-60
<i>Cryptotis mexicanus</i>	48-56	---	---	---	La mayoría	---	---	---
<i>Sorex ventralis</i>	34	---	---	---	La mayoría	---	---	---
<i>Sorex veraepacis mutabilis</i>	48-54	4	4	---	46	SM	---	51-56

7.3 Morfología de *Cryptotis*

7.3.1 Coeficiente de variación morfológica por especies, sexos y por localidades

Se calcularon los coeficientes de variación (CV) de 35 variables para conocer la magnitud de la variación morfológica de los ejemplares de *Cryptotis*. Los valores promedio del CV de cada especie se encontraron entre 3.3% y 5% (Anexo 1), *Cryptotis goldmani machetes* presentó un coeficiente de variación ligeramente mayor que las otras especies (Fig. 10). Los valores del coeficiente de variación de *Cryptotis magnus*, la especie más grande del conjunto, fueron menores que los de *Cryptotis mexicanus*, *C. g. machetes* y *C. peregrinus*. Pero fueron similares a los CV de *C. g. goldmani*. El CV promedio de *C. g. machetes* fue mayor al observado en *C. g. goldmani*. Las hembras de *C. magnus*, *C. g. machetes* y *C.*

peregrinus mostraron un CV más alto que los machos de las mismas especies. Entre los machos y hembra de *C. mexicanus* y *C. g. machetes* no hubo diferencias en los valores de CV (Fig. 10).

Los CV promedio calculados por localidades fueron diferentes entre las dos localidades de *C. g. goldmani* (Loc. 5 y 6 en Fig. 2). También se observaron diferentes CV entre las localidades de *C. mexicanus* (1, 2 y 3 en Fig. 2), pero no hubo grandes diferencias entre los valores de las localidades de *C. magnus*, *C. g. machetes* y *C. peregrinus* (Loc. 8 y 9; 1 y 4; 7 respectivamente).

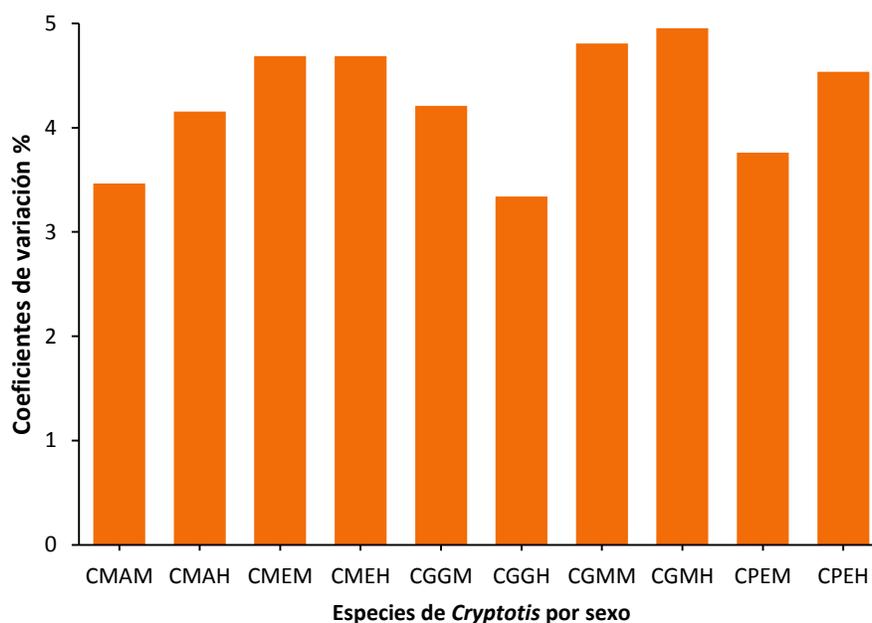


Figura 10. Porcentajes promedio de los coeficientes de variación de *Cryptotis* por especie y por sexo. CMA = *Cryptotis magnus* (machos n=14, hembras n=16), CME = *Cryptotis mexicanus* (machos n=21, hembras n=18), CGG = *Cryptotis goldmani goldmani* (machos n=7, hembras n=4), CGM= *Cryptotis goldmani machetes* (machos n=4, hembras n=8), CPE = *Cryptotis peregrinus* (machos n=10, hembras n=10). La M y la H en los acrónimos hacen referencia a macho y hembra respectivamente.

7.3.2 Análisis discriminante entre las especies de *Cryptotis*

En el análisis discriminante entre las cinco especies de *Cryptotis*, los dos primeros ejes discriminantes obtenidos describen el 86% y 8% de la variación entre especies y están correlacionados con la altura del proceso coronoide y longitud de la mandíbula, la longitud de los molares y premolares. En el gráfico de los dos primeros ejes, el eje principal uno que explica el 86.5% de la variabilidad morfológica, *C. magnus* se ubicó en un extremo del espacio de ordenación, separada del resto de las especies, entre las cuales hay traslape (Fig. 11). No hay traslape entre *C. mexicanus* y *C. g. machetes*. Pero si hay entre *C. mexicanus*, *C. g. goldmani* y *C. peregrinus* ($d = 7.43$ y 2.11 respectivamente, Fig. 11). En el eje uno las variables más relevantes por su contribución a la varianza entre las cinco especies fueron altura del proceso coronoide (ALPC), longitud de la hilera mandibular de dientes (LHMA), longitud del segundo molar superior (LMS2), longitud del primer molar superior (LMS1) y longitud de la serie de dientes molariformes (LOMO), todas pertenecientes a la zona mandibular del cráneo. En el eje principal dos, que representa 8.2% de la variación las especies no se separaron completamente. En el gráfico se representó a *C. g. machetes* separada de *C. magnus*, *C. mexicanus* y *C. peregrinus*. Las variables que explican mejor este eje fueron longitud del tercer molar (LMS3), longitud del premolar mandibular (LOPM), longitud de la serie de dientes molariformes (LOMO), longitud de la hilera mandibular de dientes (LHMA) y longitud del segundo molar superior (LMS2, Cuadro 4).

7.3.3 Análisis de distancia y agrupamiento

Se calculó la distancia de Manhattan entre los centroides de las cinco especies de *Cryptotis*. Los valores encontrados muestran que *C. magnus* es la especie morfológicamente más diferente del conjunto, al presentar la mayor distancia entre su

centroide y los de las especies restantes (Anexo 1). Las distancias más cortas entre grupos se encontraron entre *C. peregrinus* y *C. mexicanus* ($d = 2.11$) y entre *C. g. goldmani* y *C. g. machetes* ($d = 3.65$; Fig. 12). Para representar estas distancias se realizó el agrupamiento mediante UPGM. El fenograma obtenido demuestra que *C. magnus* se separa ampliamente de las otras especies ($d = 15.90$), las cuales formaron un grupo claramente definido. De acuerdo con este agrupamiento, hay mayor similitud morfológica entre *C. mexicanus* y *C. peregrinus*. A su vez, *C. g. goldmani* y *C. g. machetes* también resultaron muy similares.

7.3.4 Análisis de los ejes discriminantes

Al realizar el análisis multivariante de los ejes discriminantes, se encontraron diferencias significativas ($F_{3,464} = 80.719$, $p < 0.0001$). En el eje uno hubo diferencias entre la mayoría de los grupos ($p < 0.0001$), excepto entre *C. peregrinus* – *C. g. machetes* ($p = 1$) y entre *C. peregrinus* – *C. mexicanus* ($p = 0.31$). Mientras que en el eje dos hubo diferencias significativas entre todos los grupos ($p < 0.0001$), menos *C. peregrinus* – *C. magnus* ($p = 1$; Anexo 1 - cuadro 10).

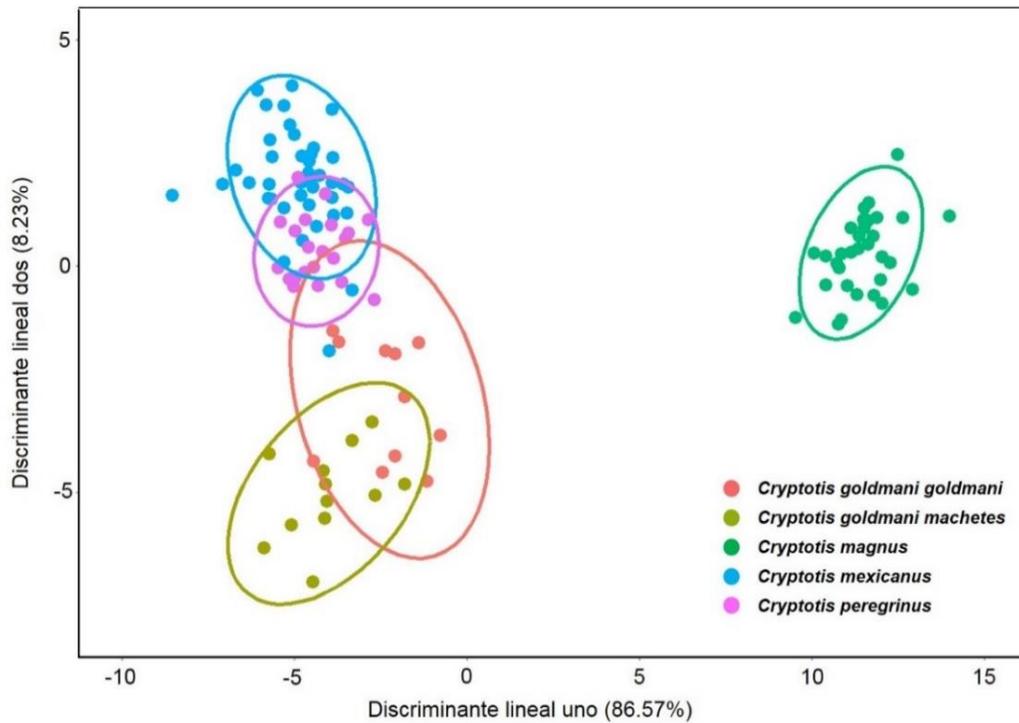


Figura 11. Análisis discriminante de Fisher entre las cinco especies de *Cryptotis*. *Cryptotis magnus* (n=32), *Cryptotis mexicanus* (n=41), *Cryptotis goldmani goldmani* (n=11), *Cryptotis goldmani machetes* (n=12) y *Cryptotis peregrinus* (n=22).

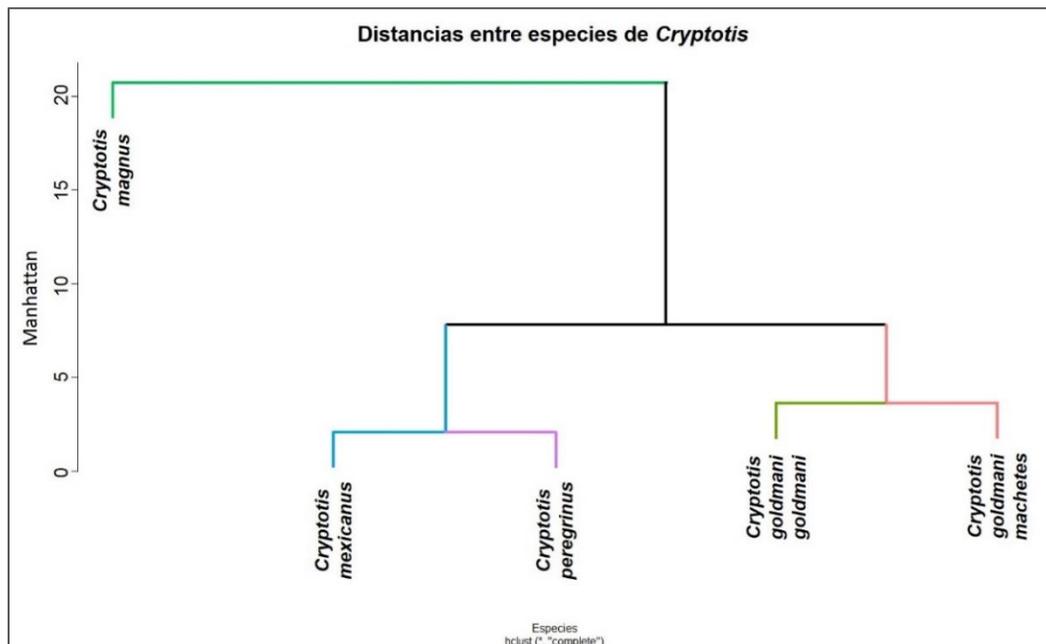


Figura 12. Fenograma de distancias de Manhattan entre los centroides de las especies de *Cryptotis* construido con UPGMA.

Cuadro 4. Autovalores del análisis discriminante entre especies de *Cryptotis* (Fig. 11). Los acrónimos de las variables se describen en la sección de materiales y métodos.

	Discriminante uno	Discriminante dos
ALPC	5.552	1.545
LHMA	-5.474	-5.723
LMS2	4.041	-4.844
LMS1	3.730	1.175
LOMO	-3.705	-6.693
LOM2	3.504	-4.595
LOMM	3.265	-0.122
LOCA	-3.215	-1.938
LHMD	3.135	4.255
LOPR	3.049	-0.306
LOM3	2.805	-3.971
ALVC	2.455	1.155
AU2M	-1.399	-1.876
LCAR	1.230	-0.128
LOMA	-1.108	3.065
LOIN	1.095	1.381
ALCA	-1.049	1.091
LOPM	0.999	10.582
LOC1	0.981	1.557
LMS3	-0.888	10.915
APCI	0.829	-3.808
AU1M	0.823	4.262
LOUN	-0.783	0.036
LOPA	0.683	-2.260
ANCC	0.655	0.224
UNAD	-0.585	-3.316
LOCB	0.325	-0.012
AMAX	-0.282	1.772
PRCR	-0.196	-0.052
LC	0.150	-0.077
CC	0.144	0.049
LOM1	0.131	3.193
LT	-0.125	0.042
LP	-0.118	-0.430

7.3.5 Análisis lineal discriminante entre localidades de *Cryptotis mexicanus*

También se hizo un análisis discriminante de Fisher con intervalos de confianza al 95% para diferenciar entre las tres poblaciones de *Cryptotis mexicanus*, ya que se

encontraron diferencias entre los CV (Fig. 10). Los dos ejes discriminantes obtenidos contienen el 99% de la varianza y están relacionados con la longitud de los molares superiores e inferiores. El gráfico de los ejes discriminantes mostró a los ejemplares de las tres localidades separados considerablemente (Fig. 13), dado que sus intervalos de confianza no se superponen. Esto se confirmó al calcular las distancias entre los centroides de cada grupo (Fig. 14, tabla de valores en Anexo 1). Los grupos que representan las localidades Los Reyes y Totontepec se ubicaron orientados a un extremo del espacio de ordenación. El grupo de Los Reyes se ubica más cercano a la localidad Cerro Zempoaltepetl ($d = 7.8$, Fig. 14). El eje discriminante uno, que explica 62% de la divergencia separó al grupo de Cerro Zempoaltepetl de los otros dos grupos. Las variables que más contribuyeron a la diferenciación entre grupos en este eje discriminante fueron longitud de la serie molar mandibular (LOMM), longitud de la serie mandibular de dientes (LMAN), longitud del cóndilo articular al extremo del tercer molar (LOCA), altura del proceso coronoide (ALPC) y longitud de la serie de dientes molares (LOMO). El eje discriminante dos que explica 37% de la divergencia separó al grupo de Los Reyes de los otros dos grupos. Las variables más importantes por su contribución en este eje fueron longitud de la serie de dientes molares (LOMO), altura del proceso coronoide (ALPC), longitud del cóndilo articular (LCAR), longitud del segundo molar (LMS2) y anchura interorbital (ANCI; Cuadro 5).

A partir de las distancias calculadas entre los centroides de los tres grupos se realizó un análisis de agrupamiento mediante UPGMA. El fenograma obtenido agrupó a Los Reyes y Cerro Zempoaltepetl juntos y por otro lado ubicó a Totontepec (Fig. 14).

7.3.5 Análisis de los ejes discriminantes

Los resultados de MANOVA mostraron diferencias significativas entre los grupos en ambos ejes discriminantes (Eje uno: $F_{2,78} = 155.52$, $P < 0.0001$, Eje dos: $F_{2,78} = 93.804$, $P < 0.0001$, Anexo 1 – cuadro 10).

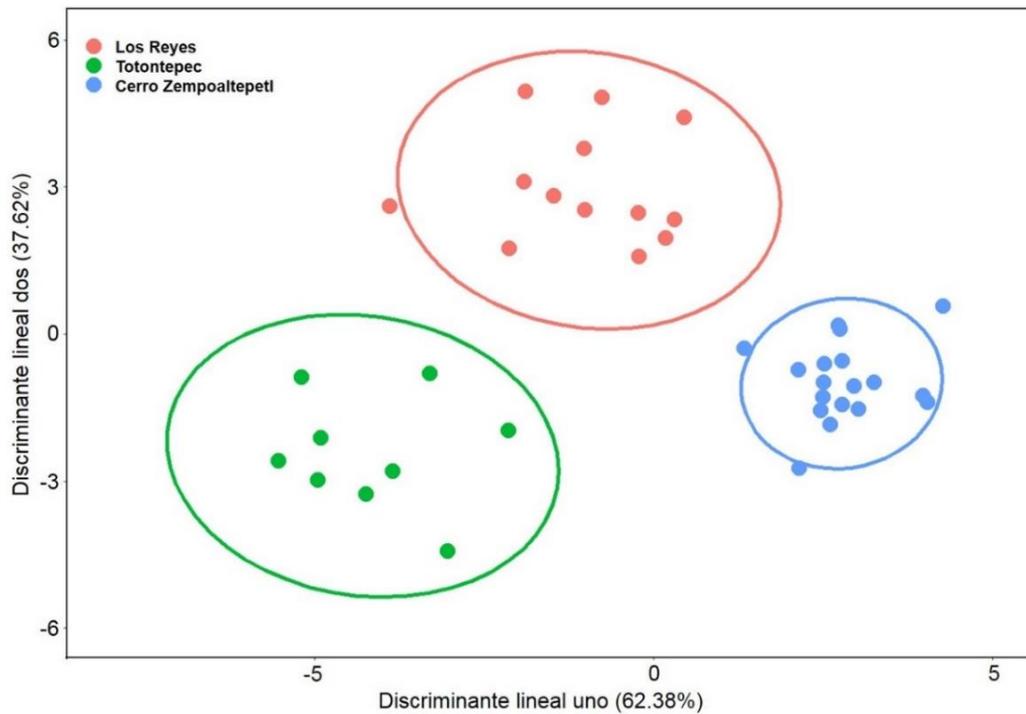


Figura 13. Análisis lineal discriminante de Fisher entre localidades de *Cryptotis mexicanus*. Las elipses representan intervalos de confianza de 95 %. Localidad Cerro Zempoaltepetl n=18, Localidad Los Reyes n=13, Localidad Totontepec n=9).

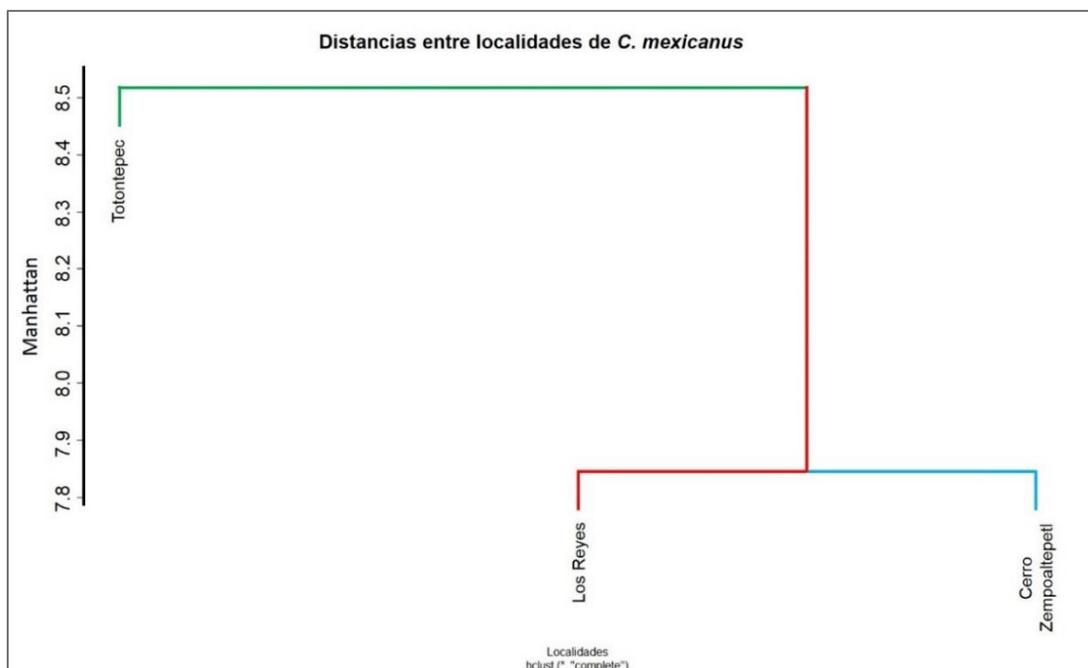


Figura 14. Fenograma de distancias entre los centroides de *Cryptotis mexicanus* por localidades.

Cuadro 5. Valores del análisis discriminante entre las localidades de *Cryptotis mexicanus* (Fig. 13). Los acrónimos de las variables se describen en la sección de materiales y métodos.

	Discriminante uno	Discriminante dos
LOMM	7.327	0.248
LMAN	-5.671	-1.499
LOCA	4.645	-0.547
ALPC	-3.947	-2.364
LOMO	3.315	4.434
LOM1	-2.975	-0.878
LMS3	-2.921	-1.145
LOUN	1.694	0.691
LHMD	-1.445	0.080
ALVC	-1.433	-0.596
AMAX	1.401	-0.180
LCAR	-1.388	2.022
LOM3	-1.254	-1.252
LOMA	-1.101	-1.270
AU2M	1.034	-0.188
LC	-1.010	-0.849
LMS2	-0.984	-1.841
UNAD	0.843	0.758
ANCI	-0.740	1.781
APCI	0.661	0.279

AU3M	-0.504	0.486
LOM2	-0.474	-0.190
LOCB	0.444	0.124
PRCR	0.340	-0.223

7.4 Morfología de *Sorex*

7.4.1 Coeficiente de variación morfológica entre especies, sexos y por localidades

Se analizaron los coeficientes de variación (CV) de 36 variables medidas, para conocer la magnitud de la variación de las cuatro especies de *Sorex*. Los valores del coeficiente de variación promedio de cada especie se encontraron entre 4.2% y 5% (Anexo I). El coeficiente de variación fue un poco mayor en *Sorex ventralis* (Fig. 15). No se encontró mucha variación entre los CV promedio de las especies separadas por sexos. Se observaron promedio diferentes entre las dos localidades de *S. veraecrucis altoensis* y entre las localidades de *S. veraepacis mutabilis*, pero no entre las localidades de *S. v. veraecrucis*.

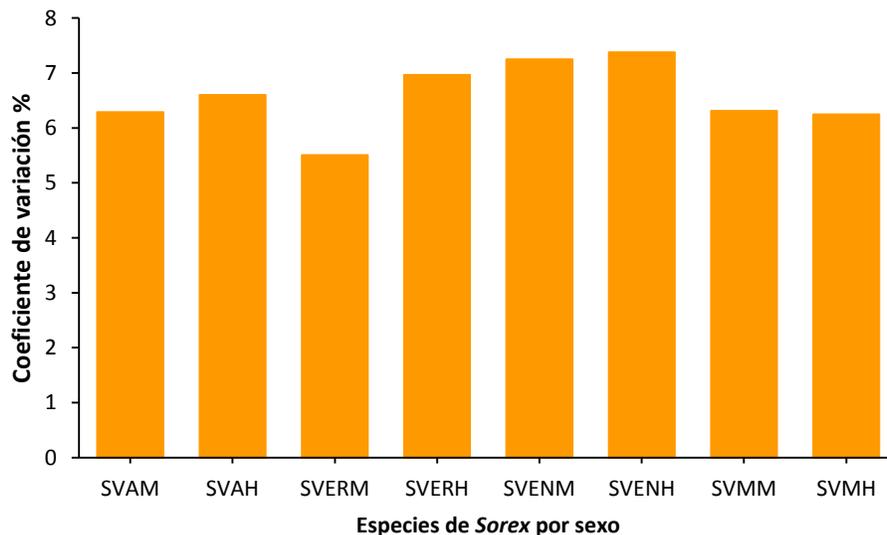


Figura 15. Porcentajes promedio de los coeficientes de variación de *Sorex* por sexo y por especie. SVA = *Sorex veraecrucis altoensis* (machos n=4, hembras n=4), SVER = *Sorex veraecrucis veraecrucis* (machos n=3, hembras n=4), SVEN = *Sorex ventralis* (machos n=12, hembras n=22), SVM = *Sorex veraepacis mutabilis* (machos n=22, hembras n=12). La M y H al final de los acrónimos anteriores son macho y hembra respectivamente.

7.4.2 Análisis discriminante

Se realizó el análisis discriminante entre las cuatro especies de *Sorex*. Los dos primeros ejes discriminantes obtenidos explican en total el 89% de la varianza entre especies y están correlacionados con la longitud de las series dentales y el ancho de la placa cigomática. En el morfoespacio del análisis las cuatro especies se agruparon por separado, con una ligera superposición entre sus intervalos de confianza (Fig. 16). El eje principal uno que explica el 54% de la variación morfológica separó a dos pares de especies *S. ventralis* y *S. altoensis* de *S. veraecrucis* y *S. veraepacis mutabilis*. Las variables más importantes por su contribución a la varianza entre especies en este eje fueron la longitud del primer molar mandibular (LOM1), la longitud del primer canino (LOC1), longitud del segundo molar superior (LMS2), longitud de la hilera maxilar de dientes (LHMD) y la longitud de la serie de dientes molares (LOMO). Todas ellas longitudes de la zona mandibular del cráneo. El eje principal dos representa 34% de la variación morfológica. Este eje separó a *S. veraecrucis* de *S. v. mutabilis* y *S. ventralis*, pero no de *S. v. altoensis*. Las variables discriminantes en este eje fueron la longitud del primer molar mandibular (LOM1), anchura a través de los segundos unicúspides (AU2M), longitud del segundo molar superior (LMS2), la anchura a través de los primeros unicúspides (AU1M) y la longitud de la serie de dientes molares (LOMO), la mayoría de ellas longitudes dentales de la zona mandibular.

7.4.3 Análisis de agrupamiento

Para conocer el grado de separación entre los grupos, se calculó la distancia de Manhattan entre los centroides (Anexo 1). Los valores encontrados demostraron que *S. v. veraecrucis* y *S. ventralis* se separan considerablemente ($d = 9.9$; Fig. 17) y que *S. ventralis* y *S. v. altoensis* se ubican muy cercanas entre sí en el espacio de ordenación ($d = 4.9$). El

fenograma obtenido a partir de estas distancias formó dos grupos, el primero conformado por *S. v. ventralis* y *S. v. altoensis* y el segundo por *S. v. mutabilis* y *S. v. veraecrucis*.

7.4.4 Análisis de los discriminantes

El análisis de varianza MANOVA mostró diferencias significativas entre los grupos, en los tres ejes discriminantes obtenidos ($F_{2,246} = 64.111, p < 0.0001$, ver Anexo 1 – cuadro 11). En el eje uno hubo diferencias entre todas las especies ($p < 0.0001$) excepto entre *S. v. mutabilis* y *S. v. veraecrucis* ($p = 0.7635$). En el eje discriminante dos también se encontraron diferencias significativas entre los grupos ($p < 0.0001$), excepto entre *S. v. veraecrucis* y *S. v. altoensis* ($p = 0.087$).

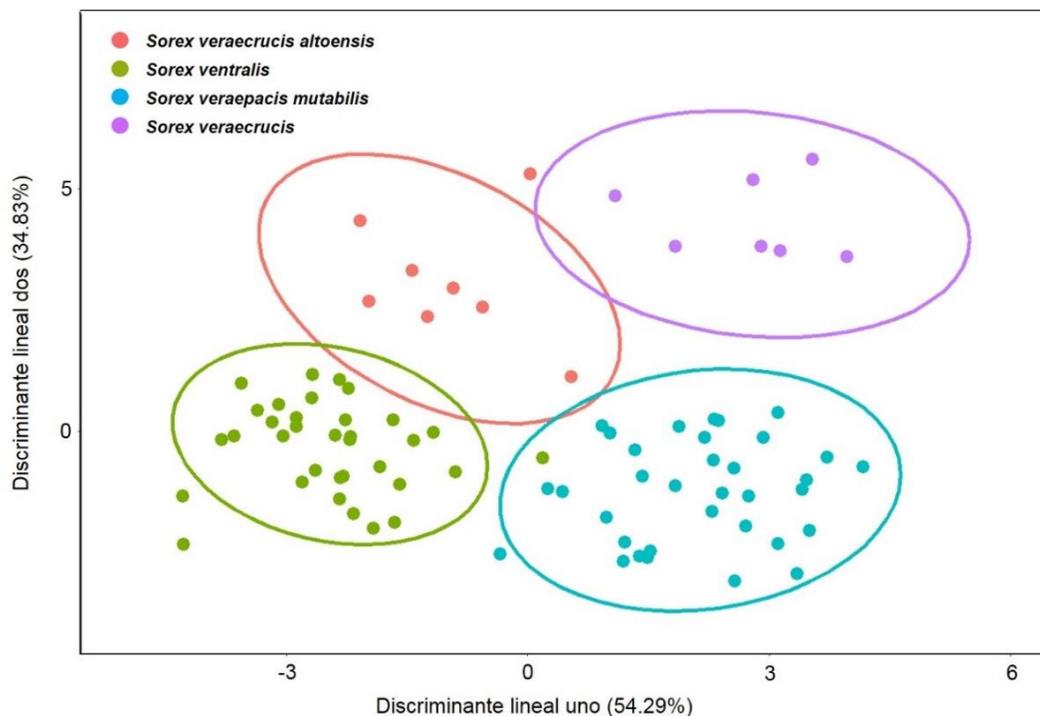


Figura 16. Análisis discriminante de Fisher entre las especies de *Sorex*. *Sorex veraecrucis altoensis* (n=8), *Sorex veraecrucis veraecrucis* (n=7), *Sorex ventralis* (n=34), *Sorex veraepacis mutabilis* (n=34).

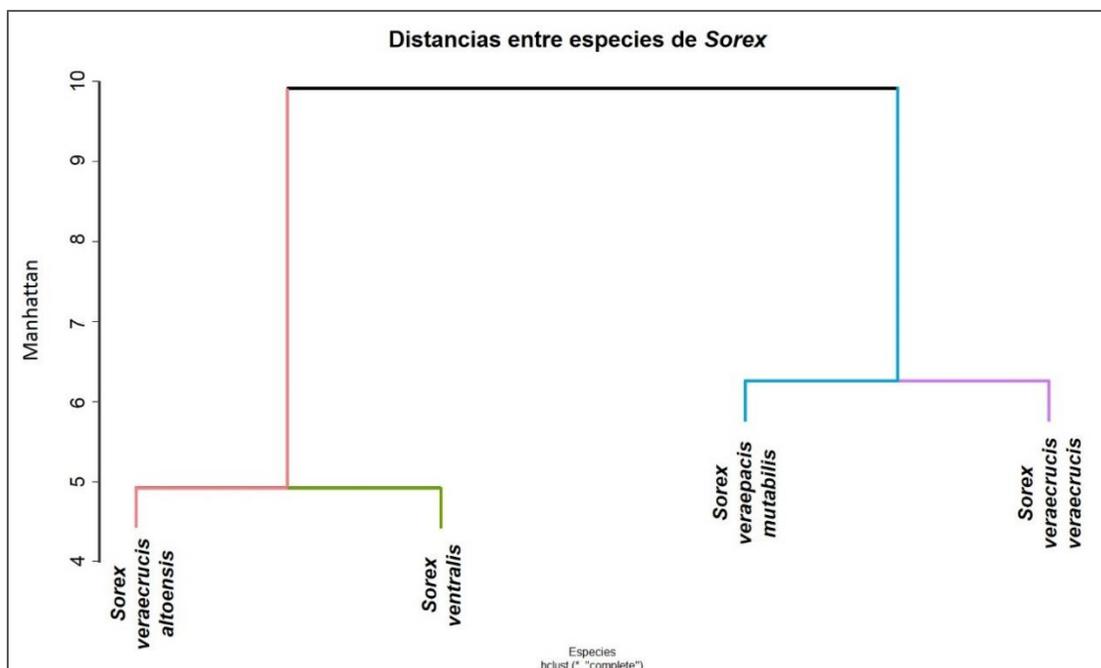


Figura 17. Fenograma de distancias de Manhattan entre los centroides del análisis discriminante de las especies de *Sorex*.

Cuadro 6. Autovalores del análisis discriminante entre especies de *Sorex* (Fig. 16). Los acrónimos de las variables se describen en la sección de materiales y métodos.

	Componente uno	Componente dos
LOM1	12.717	27.549
LOC1	-8.192	-3.947
LMS2	7.723	12.649
LHMD	-6.804	-2.528
LOMO	6.143	-7.826
AU1M	6.113	-10.288
LMS1	-5.681	4.756
LOPM	-5.642	4.869
LMAN	5.306	1.075
ALVC	-5.282	1.889
LCAR	-5.017	-3.265
ALPC	4.237	-4.589
UNAD	-3.594	-1.175
AU3M	3.186	2.377
AMAX	-2.788	-5.345
LOUN	2.567	-0.172
LOMM	-2.331	-1.672
AU2M	-2.127	16.340
ANCC	-1.798	-1.503
LOMA	-1.743	2.581

LOPA	1.641	-0.120
LOM3	-1.637	4.311
LOIN	-1.560	1.187
ANCI	-1.469	0.843
LOM2	1.234	-1.215
PRCR	1.018	-2.483
LOCA	0.898	-4.265
LMS3	0.870	0.650
ALCA	0.623	7.618
LOPR	0.578	3.201
LC	0.084	0.039
LOCB	-0.083	0.544
APCI	-0.078	3.749
LP	0.051	-0.283
CC	-0.036	0.020

7.4.5 Análisis discriminante de Fisher entre localidades

Se hizo un análisis lineal discriminante de Fisher (LDA) entre las localidades de colecta de *Sorex veraecrucis altoensis*, *S. v. veraecrucis* y *S. veraepacis mutabilis*, pues se encontraron diferencias entre sus CV (Fig. 15). Los dos ejes discriminantes obtenidos contienen el 79% de la varianza y están relacionados con el ancho del paladar y la longitud de la mandíbula. El análisis mostró que la distancia entre localidades es considerable, ya que sus intervalos de confianza no se sobrelapan y los valores de distancias entre centroides apoyan esta separación (Fig. 18). *Sorex veraecrucis veraecrucis* de Santiago Comaltepec se separa ampliamente de *S. v. veraecrucis* de Cerro San Felipe ($d = 31.4$, Fig. 19). En el eje discriminante uno que explica 55% de la divergencia se separaron las cuatro localidades de *S. v. mutabilis*. También las dos localidades de *S. v. veraecrucis* y las dos localidades de *S. v. altoensis* se agruparon por separado en este eje. Las variables más importantes para discriminar entre grupos en el eje uno fueron la anchura entre los segundos unicúspides (AU2), longitud de la serie de dientes molares (LOMO), longitud del primer molar

mandibular (LOM1), longitud de la serie de dientes unicúspides (LOUN) y anchura a través de los primeros unicúspides (AU1). Todas ellas son longitudes y anchuras de los dientes. El eje discriminante dos que explica 23% de la divergencia separó a tres de las cuatro localidades de *S. v. mutabilis*. Y separó las localidades de *S. v. altoensis* y *S. v. veraecrucis*. Las variables más importantes en el eje discriminante dos fueron la longitud de la mandíbula (LOMA), longitud de la serie molar mandibular (LOMM), longitud de primer molar mandibular (LOM1), anchura a través de los terceros unicúspides (AU3) y anchura maxilar a través de los segundos molares (AMAX, Cuadro 7).

7.4.6 Análisis de agrupamiento

El análisis de distancia entre los centroides de los grupos mostró que hay separación entre todos los grupos analizados (Anexo 1 – cuadro 9). Las distancias más pequeñas se encontraron entre *S. v. mutabilis* de Peña Blanca y *S. v. veraecrucis* de Cerro San Felipe ($d = 4.93$), entre este último grupo y *S. v. altoensis* de Santa Inés ($d = 5.39$) y entre *S. v. mutabilis* de Cerro Zempoaltepetl y Totontepec ($d = 7.10$). Al realizar el análisis de agrupamiento, el fenograma obtenido recuperó dos grupos principales (Fig. 19), el primero conformado por *S. v. veraecrucis* Cerro San Felipe, *S. v. mutabilis* Peña Blanca, *S. v. altoensis* Santa Inés y *S. v. mutabilis* Cerro San Felipe. El otro grupo incluyó a *S. v. mutabilis* de Totontepec y de Cerro Zempoaltepetl, *S. v. altoensis* del Izta-Popo y *S. v. veraecrucis* de Santiago Comaltepec.

7.4.7 Análisis de varianza de los ejes discriminantes

Cuando se hizo el MANOVA entre los grupos, se obtuvieron diferencias significativas en todos los ejes discriminantes ($F_{7,322} = 25.92, p < 0.0001$). En el eje uno ($p < 0.0001$) los grupos entre los cuales no hubo diferencias fueron *S. v. mutabilis* San Felipe –

S. v. altoensis Izta-Popo, *S. v. mutabilis* Zempoaltepetl – *S. v. veraecrucis* La Esperanza y *S. v. altoensis* Santa Inés – *S. v. veraecrucis* San Felipe. En el eje dos ($p < 0.0001$) los grupos entre los que no hubo diferencias fueron *S. v. veraecrucis* La Esperanza – *S. v. altoensis* Izta-Popo, *S. v. veraecrucis* San Felipe – *S. v. mutabilis* Peña Blanca, *S. v. mutabilis* Totontepec y Zempoaltepetl – *S. v. altoensis* Santa Ines y *S. v. mutabilis* Totontepec – Zempoaltepetl (Anexo 1 – cuadro 11).

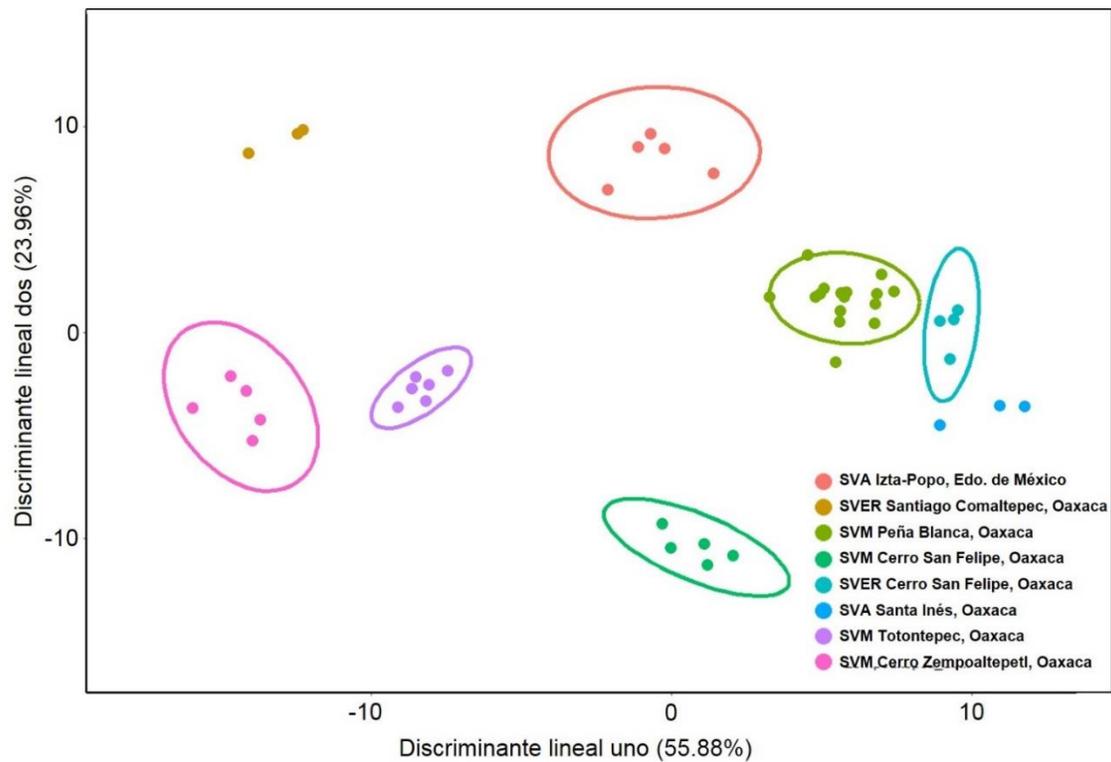


Figura 18. Análisis discriminante de Fisher entre las localidades de *Sorex veraecrucis altoensis* (SVA), *Sorex veraecrucis veraecrucis* (SVER) y *Sorex veraepacis mutabilis* (SVM). Las elipses representan intervalos de confianza 95 %.

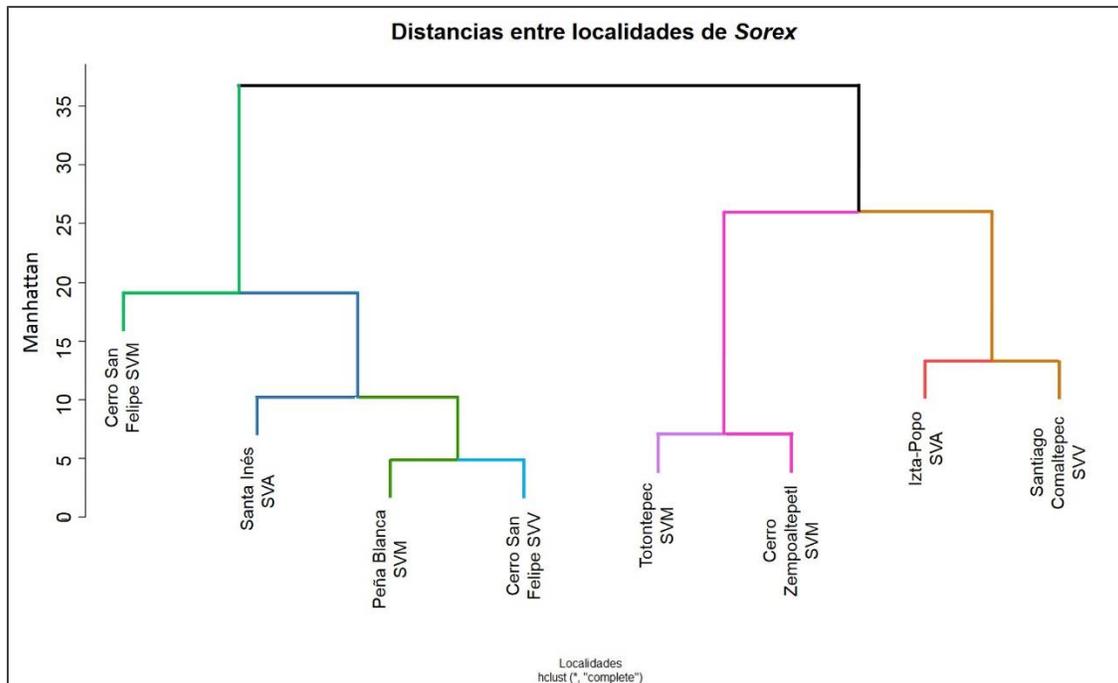


Figura 19. Fenograma de distancias de Manhattan entre los centroides de las localidades de las especies de *Sorex*.

Cuadro 7. Valores del análisis discriminante de Fisher entre las localidades de *Sorex veraecrucis altoensis*, *S. veraecrucis veraecrucis* y *S. veraepacis mutabilis* (Fig. 18). Los acrónimos de las variables se describen en la sección de materiales y métodos.

	Discriminante uno	Discriminante dos
AU2M	13.762	1.015
LOMO	-10.126	0.677
LOM1	10.114	4.128
LOUN	7.562	2.065
AU1M	-6.617	0.694
LOMA	-6.329	-5.388
LOCA	5.302	3.093
LHMD	-5.152	0.052
AU4M	-5.114	-2.384
LOM3	4.688	-1.267
ANCI	4.393	-0.162
LT	4.228	0.049
LC	-3.850	1.325
LOM2	3.709	-1.861
LMAN	-3.389	-1.131
LOMM	3.252	-4.829
ANCC	-3.147	-1.042
LMS3	2.335	2.100

AMAX	-1.841	-3.238
APCI	1.426	1.066
AU3M	-1.409	3.302
ALCA	-1.393	-0.647
LMS1	-1.282	-0.049
LOCB	1.237	0.487
LOC1	-1.235	-1.094
PRCR	-0.897	0.584
LOPM	0.856	0.225
ALVC	0.765	0.518
LMS2	0.570	1.489
ALPC	-0.283	0.220
LOPA	-0.047	-0.293

8. DISCUSIÓN

8.1 El cariotipo de *Cryptotis magnus*, *Cryptotis mexicanus*, *Sorex veraepacis mutabilis* y *Sorex ventralis*.

El complemento cromosómico de *Cryptotis* fue diferente del de *Sorex* (Cuadro 3). *Cryptotis magnus* presentó un número cromosómico diploide (2n) igual 26, las tres especies restantes presentaron un complemento cromosómico mayor a 26. Estos datos concuerdan con información previa sobre la conformación de los cariotipos de las musarañas.

El complemento cromosómico de *Cryptotis magnus* fue diferente del de *C. mexicanus* en morfología y número (Fig. 6 y 7). Se pudo determinar que la mayoría de los cromosomas de *C. mexicanus* son acrocéntricos. En contraste, casi todos los pares de cromosomas de *C. magnus* fueron submetacéntricos y sólo uno fue telocéntrico. Además, el número de cromosomas de *C. mexicanus* es 46% mayor que el de *C. magnus*. Llama la atención que estas importantes diferencias cromosómicas están acompañadas de notables diferencias morfológicas (ver sección de resultados y capítulos siguientes). Sin embargo

con este pequeño número de muestras celulares no se puede establecer una correlación entre la magnitud de las diferencias cromosómicas y las morfológicas.

La morfología y el número de cromosomas de *Cryptotis mexicanus* son similares a los de *C. parvus*, *Blarina brevicauda* y *Blarina carolinensis* (Genoways y Choate, 1972; Genoways et al. 1977). Estas similitudes pueden estar relacionadas con la cercanía filogenética entre estos géneros (Guevara y Cervantes, 2014). Por otro lado, las grandes diferencias entre el arreglo cromosómico de estos taxones y el de *C. magnus* puede estar reflejando la historia evolutiva de *C. magnus*.

Los resultados obtenidos en esta investigación demostraron que no hay un patrón definido en los cambios cromosómicos entre géneros. La diferencia encontrada entre las dos especies de *Cryptotis* es contraria a la hipótesis de que habría más diferencias entre géneros distintos que entre especies del mismo género. Una de las probables explicaciones de la gran diferencia en el número y morfología cromosómica entre las dos especies de *Cryptotis* puede ser la ocurrencia de fusiones y/o fisiones (rearrreglos cromosómicos robertsonianos) y esto a su vez está probablemente relacionado con la distribución restringida de *C. magnus*, pues las pocas poblaciones conocidas se encuentran aisladas entre sí. Se sabe que los arreglos cromosómicos tienen más probabilidad de ocurrir y fijarse más rápidamente dentro de poblaciones pequeñas, aisladas o con poco flujo genético (Wright, 1941). También se sabe que entre los mamíferos existe un patrón de cambio en el número cromosómico, en el cual este número tiende a reducirse como consecuencia de los rearrreglos robertsonianos (Walker y Spotorno, 1992). Por lo tanto las características del complemento cromosómico de *C. magnus* puede ser explicado por la fusión de cromosomas, lo cual hace sentido con la hipótesis de la reducción del número de cromosomas.

Por el contrario, el probable entrecruzamiento de individuos de *Cryptotis mexicanus* provenientes de diferentes poblaciones podría ser el responsable del mantenimiento de la variabilidad y por tanto, los cambios cromosómicos no son tan evidentes (Wright, 1941). En esta investigación sólo se estudió una población de *C. mexicanus*, pero se ha reportado anteriormente gran variabilidad cromosómica en especies de musarañas con una distribución amplia (*Sorex araneus*; Wojcik et al. 2003; Polly et al. 2013), por lo tanto surge la necesidad de muestrear otras poblaciones a lo largo de la distribución de *C. mexicanus*, para conocer las características cromosómicas de esta especie en otros sitios.

El complemento cromosómico de *Sorex veraepacis mutabilis* difirió de *Sorex ventralis* en número, pero no en morfología (Fig. 8 y 9). *S. v. mutabilis* presentó 40% más de cromosomas que *S. ventralis*. Aunque ambas especies presentan un complemento cromosómico compuesto en su mayoría por cromosomas telocéntricos. Es probable que los cromosomas sexuales de *S. v. mutabilis* sean cromosomas (Fig. 8). La morfología y el número de cromosomas de *S. v. mutabilis* son similares a los de *Sorex araneus*, *Sorex vagrans*, *Sorex pacifius* y *Sorex ornatus* (Carraway, 1985; Zima, 2000).

Contrario a lo que se esperaba, las diferencias cromosómicas entre géneros no resultaron mayores que las diferencias encontradas entre las especies, pues en ambos casos hubo diferencias importantes.

Otro resultado relevante es el hecho de que la mayoría de las musarañas estudiadas presentan un cariotipo con un gran número de cromosomas. En el caso específico del género *Sorex*, se ha propuesto que el cariotipo ancestral estaba compuesto de 56 cromosomas. Este número parece mantenerse en algunas especies del género y es similar al número cromosómico encontrado en especies de *Crocidura*, *Blarina*, *Cryptotis* (Cuadro 1; George et al. 1982; Carraway, 1985; Genoways et al. 1977; Zima, 2000).

8.2 La variación morfológica entre especies, sexos y localidades de *Cryptotis*

Los resultados de esta investigación muestran que, si bien la magnitud de la variación morfológica en las especies del grupo *Cryptotis mexicanus* es pequeña, es mayor a la encontrada entre especies de *Blarina* (Moncrief et al. 1982), similar a la reportada para otras especies de *Cryptotis* y *Crocidura* (Choate, 1970; Dippenaar, 1977), y menor a la encontrada en las especies de *Sorex* del presente estudio.

La variación morfológica de la especie más grande, *Cryptotis magnus*, fue menor que la de la especie más pequeña *C. mexicanus* (Fig.10). También llama la atención que *C. g. machetes* presentó la mayor variación morfológica de todo el conjunto de especies (CV = 4.8%) y que la menor variación morfológica la tuvo *C. goldmani* (CV = 3.7%), aunque muy similar a *C. magnus* (CV = 3.8%).

Las hembras de *C. magnus*, *C. g. machetes* y *C. peregrinus* presentaron mayor variación morfológica que los machos (CV promedio = 4.5 y 4 % respectivamente; Fig.10). Esto es similar a lo reportado en la especie *Crocidura mariquensis* (Dippenaar, 1977). Pero en el subgrupo *Cryptotis goldmani* la variación en los machos de *C. goldmani* fue mayor que en las hembras. Esto puede estar influenciado por el efecto de la localidad, ya que todos los machos pertenecen a una localidad y todas las hembras pertenecen a la otra localidad. Además, en el análisis de varianza se encontraron diferencias significativas entre las localidades de estos ejemplares. Es clara la necesidad de un esfuerzo adicional en la revisión de ejemplares en *C. goldmani* para saber si se confirman ambos efectos o sólo uno. En tanto, hasta donde se sabe, éste es el primer reporte de diferencias en la variación morfológica entre sexos en *Cryptotis*.

Son muchas las diferencias en la variación morfológica interespecífica e intraespecífica en el grupo *Cryptotis mexicanus*. Las localidades de origen de los

ejemplares estudiados son todas distintas y se reparten entre provincias biogeográficas de México con diferencias topográficas, climáticas, geológicas, edáficas y bióticas. Cada uno de estos factores, incluyendo la genética, es un candidato potencial para explicar el porqué de las diferencias en la variación morfológica encontradas en las especies del grupo *C. mexicanus*. Esto puede constituir la base para investigaciones futuras.

8.3 Las diferencias morfológicas entre especies, sexos y localidades de *Cryptotis*

Las diferencias morfológicas entre las especies del grupo *Cryptotis mexicanus* son muy relevantes. *Cryptotis magnus* es la especie más grande y más diferente del conjunto, pues se agrupó separada del resto de las especies en el espacio del LDA (Fig. 11), esto fue apoyado por la distancia calculada entre los centroides de cada grupo y por el fenograma obtenido a partir de estas distancias (Fig. 12, Anexo 1). El fenograma también mostro que *C. mexicanus*, *C. g. goldmani*, *C. g. machetes* y *C. g. peregrinus* forman un grupo bien definido. El cráneo y la mandíbula de *C. magnus* son más grandes que en el resto del grupo analizado. De estas grandes diferencias y a pesar de la evidencia molecular conocida hasta el momento surge la pregunta, ¿*Cryptotis magnus* pertenece al grupo *Cryptotis mexicanus*?

Los resultados del análisis discriminante también mostraron que *Cryptotis goldmani goldmani* y *C. g. machetes* no son tan diferentes entre sí, pues hubo un ligero traslape entre sus intervalos de confianza y el análisis de agrupamiento las representó muy cercanas entre sí. Este resultado inicial apoya la hipótesis de que son dos subespecies estrechamente relacionadas (Guevara y Cervantes, 2014; Baird et al. 2018).

La variación de los caracteres morfológicos asociada a la distribución difiere entre las especies estudiadas. La especie más grande y con una distribución geográfica más reducida, *Cryptotis magnus*, presentó la menor variación morfológica (Fig. 10). *Cryptotis*

goldmani goldmani mostró una variación morfológica similar o mayor a la de algunas localidades de *C. g. machetes*. La variación morfológica de estas dos especies fue en algunos casos mayor que la de *C. magnus*. La mayor variación se presentó en las localidades de *C. mexicanus*, la especie más pequeña y más ampliamente distribuida del conjunto.

8.4 Las diferencias morfológicas entre *Cryptotis goldmani goldmani*, *Cryptotis goldmani machetes* y *Cryptotis peregrinus*

La discusión morfológica sobre los taxa *Cryptotis goldmani goldmani* y *C. g. machetes* persistió vigente 123 años, dando lugar a cambios de género, especies y subespecies (Merriam, 1895; Miller, 1911; Jackson, 1933; Jones y Genoways, 1967). Más recientemente se describieron más similitudes que diferencias entre ambos taxones (Choate, 1970; Woodman, 1999; Carraway, 2007). En la presente investigación, aunque se encontraron pocas diferencias entre las subespecies, los coeficientes de variación entre ellas fueron diferentes (Fig. 10). Además los análisis de ordenación mostraron distinción morfológica (Fig. 12). La distancia entre los centroides de *C. g. goldmani* y *C. g. machetes* en el espacio de variación morfológica del LDA fue significativa ($d = 3.56$). La posición de dichos taxa en el LDA muestra que *C. g. machetes* es más grande y morfológicamente diferente que *C. g. goldmani* (Fig. 11).

Con respecto las diferencias entre estos taxones y *C. peregrinus*, la agrupación de los ejemplares en el espacio de variación morfológica construido por el primer LDA muestra una separación importante en el eje dos, entre *Cryptotis goldmani machetes* y *Cryptotis peregrinus* (Fig. 11). El fenograma que representa el agrupamiento por distancias entre los grupos, agrupó a *C. g. goldmani* y *C. g. machetes* más cercanas entre sí que a *C. peregrinus* (Fig. 12), esto sugiere mayor afinidad morfológica entre estas especies.

Al realizar el análisis multivariante se encontraron diferencias entre los tres grupos (Anexo 1 – Cuadro 10). En conclusión y contrario al planteamiento de la cuarta hipótesis de esta investigación, aunque se conoce una distancia genética muy pequeña entre estas especie (Guevara y Cervantes, 2014), no hay conespecificidad morfológica entre ellas. *Cryptotis goldmani goldmani* y *C. g. machetes* se diferencian claramente de *C. peregrinus*. Esta conclusión hace evidente la necesidad de hacer un análisis genético más detallado, que incluya ejemplares de las tres especies y de diferentes localidades, para conocer no sólo las diferencias existentes entre el complejo *C. goldmani* y *C. peregrinus*, sino también para conocer las similitudes y diferencias entre *C. g. goldmani* y *C. g. machetes*.

Morfológicamente *C.g. machetes* se distingue de *C. g. goldmani* por un pelaje ventral rubio en las puntas. Es más grande en la longitud de la cola y longitud de la pata. También es más grande en la longitud de la hilera de dientes unicuspidés y en la longitud de la uña media. Se distinguen de *C. peregrinus* por la coloración del pelaje más clara. *C. peregrinus* es una especie más pequeña en la longitud total y la longitud condilobasal y en características mandibulares. También es más pequeña en la longitud de la uña media.

8.5 Las diferencias morfológicas entre ejemplares de *Cryptotis mexicanus* de diferentes localidades.

Esta investigación ha usado uno de los conjuntos más grandes de variables morfológicas para distinguir entre especies de Soricidae (Woodman y Timm, 1999; Guevara et al. 2014; Carraway, 2007; Quiroga-Carmona y Molinari, 2012). Cuando se comparó este conjunto de características entre localidades de *Cryptotis mexicanus* se encontraron grandes diferencias.

Los coeficientes de variación de las localidades 2 (Totontepec, Fig. 2) y 3 (Los Reyes) fueron menores que el de la localidad 1 (Cerro Zempoaltepetl). Por lo tanto, la

variación morfológica de los organismos de las localidades 2 y 3 es menor. La búsqueda de variables que permitieran discriminar entre localidades se hizo con ayuda del análisis discriminante, este análisis mostró una separación clara entre ejemplares principalmente en el eje discriminante 1 (Fig. 13). El eje dos separó a los grupos en dos extremos, con distancias grandes entre los centroides de cada grupo (Fig.14). De forma tal que esta divergencia resultó en tres grupos morfológicos claramente delimitados. Esto se confirmó con los resultados del análisis de varianza, pues este arrojó diferencias significativas entre los grupos en ambos ejes discriminantes ($p < 0.0001$). Aunque geográficamente las localidades Cerro Zempoaltepetl y Totontepec se encuentran muy cercanas entre sí, la distancia entre sus centroides en el espacio de ordenación, calculada a partir de LDA es mayor que la distancia entre Cerro Zempoaltepetl y Los Reyes ($d = 8.4$ y 7.8 respectivamente), localidades muy alejadas geográficamente. Lo cual indica que hay menos diferencias morfológicas entre los organismos de estas últimas dos localidades.

Otra evidencia que apoya esta distinción entre morfotipos es que las características de las musarañas de la localidad 3 se ajusta bien con la morfología descrita para *Cryptotis mexicanus* (Carraway, 2007), pero no así las localidades 1 y 2, cuyos ejemplares son significativamente más grandes. Por otro lado, los caracteres morfológicos de las localidades 1 y 2 tampoco concuerdan con los de especies similares tales como *C. obscurus*, *C. phillipsii* o *C. nelsonii* (ver Carraway, 2007). Finalmente las localidades 1 y 2 se encuentran en la provincia biogeográfica Sierra Madre del Sur (SMS), mientras que la localidad 3 se localiza en el límite entre SMS y la Cuenca del Balsas, donde las características edafológicas también son diferentes.

En consecuencia, sobre este conjunto de evidencia, se puede concluir que los ejemplares de las localidades 1, 2 y 3 representan tres morfotipos diferentes, y los

ejemplares de las localidades 1 y 2 corresponden a dos nuevos morfotipos para la especie *C. mexicanus*.

Los ejemplares de la localidad 1 (Cerro Zempoaltepetl) son de tamaño mediano. Se pueden distinguir de *Cryptotis mexicanus* por la anchura del proceso coronoide y la altura del cóndilo articular, la longitud cóndilobasal, la anchura interorbital y la longitud del paladar y la longitud de la mandíbula. Se distingue de los ejemplares de Totontepec (morfotipo 2) por ser más pequeños en la longitud total, la longitud de la cola, la longitud y anchura del cráneo, anchura de la placa cigomática, en la anchura entre los dientes unicúspides y los molares, en la longitud de la mandíbula y la longitud de la uña media. Pero son más pequeños en la anchura a través de los primeros, segundos y terceros unicúspides y en la longitud de la mandíbula (ver Anexo 1).

Los ejemplares de la localidad 2 (Totontepec) son los más grandes del conjunto de ejemplares, se diferencian de *Cryptotis mexicanus* por la altura del proceso coronoide y la altura del cóndilo articular, la longitud cóndilobasal, la anchura interorbital la longitud del paladar y la longitud de la mandíbula. No presentan dimorfismo sexual en caracteres externos y craneales.

8.6 La magnitud de la variación morfológica intraespecífica e interespecífica de *Sorex*

La magnitud de la variación morfológica de las especies de *Sorex* estudiadas es pequeña (CV = 4.2 a 5%, Fig. 15). Sin embargo, ésta es mayor a la de especies de *Cryptotis* (Choate, 1970; presente estudio), *Blarina* (Rutherford, 1976; Moncrief et al. 1982) y similar a la de *Crocidura* (Dippenaar, 1977).

La variación morfológica en *Sorex ventralis* es mayor a la de *S. v. veraecrucis* (CV = 7.3 y 6.23%, respectivamente). La variación morfológica entre las otras especies difirió

ligeramente. *S. veraepacis mutabilis*, la especie más grande, presentó la menor variación morfológica del conjunto (CV = 6.2%). En general, la variación morfológica de las hembras es mayor que en los machos, pero no difirió significativamente (CV = 6.7 y 6.3%).

La variación morfológica de *Sorex veraecrucis altoensis* de la localidad 10 (Izta-Popo, Fig.3) es mayor que la de los ejemplares de la localidad 6 (Santa Inés del Monte). La variación morfológica de *S. veraepacis mutabilis* de la localidad 4 (Cerro Zempoaltepec) es menor que la variación de los ejemplares de las localidades 8 (Peña Blanca) y 5 (Totontepec). Esta variación se puede atribuir al efecto de la localidad, ya que no hubo diferencias significativas entre las hembras y machos de estas especies.

8.7 Las diferencias morfológicas entre especies y localidades de *Sorex*

Las diferencias en el tamaño de los caracteres morfológicos entre las especies de *Sorex* estudiadas son numerosas e importantes. *Sorex veraepacis mutabilis* es la especie significativamente más grande del conjunto de especies, seguida de *S. veraecrucis veraecrucis*. Al buscar las variables que mejor discriminan entre las cuatro especies de *Sorex*, todos los grupos tuvieron ubicaciones distantes en el espacio del LDA (Fig. 16 y 17). Su posición en el espacio de ordenación indica que algunas características del cráneo y la mandíbula de *S. v. mutabilis* y *S. v. veraecrucis* son más grandes que en el resto de las especies. En cambio, el cráneo y la mandíbula de *S. veraecrucis altoensis* y *S. ventralis* son más pequeños y similares en tamaño (ver tabla de medidas en Anexo 1).

Las medidas de las variables morfológicas de algunos ejemplares de *S. ventralis* se salen del rango conocido para *S. ventralis*, en cambio se ajustan bien al intervalo de variación conocido para *S. v. altoensis* (ver Carraway 2007). De tal forma que no es improbable que, al menos algunos de los ejemplares citados como *S. ventralis* pueden

pertenecer en realidad a *S. v. altoensis*. Esto es apoyado por la sobreposición de los intervalos de confianza de los dos conjuntos de ejemplares observada en el LDA (Fig. 16) y por la corta distancia entre sus centroides, con respecto a los de las otras especies ($d = 4.9$; Fig. 17). Este resultado, sumado a la similitud entre las medidas de sus caracteres morfológicos (Anexo 1), apoyan la idea de que algunos ejemplares nombrados *S. ventralis* pueden en realidad pertenecer a *S. v. altoensis*. De esta manera se hace evidente la necesidad de hacer una revisión morfológica detallada de estos ejemplares para obtener información que permita establecer con confianza a que taxón pertenecen.

Los datos morfológicos obtenidos en esta investigación, en correspondencia con la distancia genética conocida, reafirman que *S. v. altoensis* y *S. v. veraecrucis* representan dos especies distintas. Si bien hay sobreposición de los grupos en el LDA (Fig. 16), ésta es ligera y los grupos están claramente definidos. Es probable que la sobreposición sea consecuencia de que algunos ejemplares catalogados como *S. v. veraecrucis* no pertenecen a dicha especie (ver apartado 8.8). Además, en el análisis de MANOVA entre los grupos, se encontraron diferencias significativas en el primer eje discriminantes, entre estos dos grupos ($p < 0.0001$, Anexo 1). Por último, se encontraron algunas variables, que incluyen la longitud del cuerpo y la longitud de la cola, en las que *S. v. veraecrucis* es más grande que *S. v. altoensis* (Anexo 1). De hecho, en el análisis discriminante los grupos que representan las localidades de ambos taxa se separan de forma clara y significativa en ambos ejes (Fig. 17, Anexo 1).

La variación geográfica de los caracteres morfológicos difiere en magnitud entre las especies estudiadas. La especie más grande *Sorex veraepacis mutabilis* presentó la mayor variación geográfica, pues se encontraron diferencias significativas entre las localidades en el análisis de varianza MANOVA asociado a los ejes del análisis discriminantes (Fig. 17,

Anexo 1, cuadro 14). *Sorex veraecrucis veraecrucis* también presentó diferencias significativas entre sus localidades, esta variación se representó de forma clara en el LDA, ya que los grupos que representan las localidades de *S. v. veraecrucis* se ubicaron por separado tanto en el eje uno como en el eje dos. Además, la distancia entre los centroides de estos grupos es considerable ($d = 31.4$; Fig. 18). El análisis de agrupamiento basado en las distancias recuperó dos grupos principales, en los cuales las localidades de estas dos especies quedaron separadas, esto indica que hay grandes diferencias morfológicas entre localidades de estas especies. De esta clara e importante distinción entre las localidades representada por el LDA y el fenograma, surgen dudas la representación conocida de la variación morfológica de *S. v. mutabilis* y *S. v. veraecrucis* a través de su distribución geográfica y a la par surgen dudas sobre la identidad taxonómica de los ejemplares determinados como *S. v. veraecrucis* y *S. v. mutabilis*.

8.8 La evidencia morfológica que podría elevar a nivel de especie a *Sorex veraecrucis altoensis* y *Sorex veraecrucis veraecrucis*

Se encontraron grandes diferencias morfológicas entre las localidades de *Sorex veraecrucis veraecrucis*. Las medidas de los ejemplares de la localidad 9 (Santiago Comaltepec; Fig. 3) concuerdan con la descripción de los ejemplares que Carraway (2007) designó como *S. v. veraecrucis*. En contraste, las medidas de los ejemplares de la localidad 1 (Cerro San Felipe) corresponden con lo que Carraway (2007) designó como *S. v. altoensis*. Al evaluar el grado de divergencia morfológica entre los ejemplares de tales localidades con el análisis discriminante, se encontró que ésta es considerable y significativa, con intervalos de confianza distantes entre sí, que no se sobreponen ($d = 23.4$; Fig. 18). Además, el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los grupos que representan dichas

localidades de *S. v. veraecrucis*, en los primeros dos ejes discriminantes ($p < 0.0001$, Anexo 1).

En el análisis de varianza también se encontraron diferencias significativas entre los ejemplares de *S. v. veraecrucis* de Santiago Comaltepec y los ejemplares de *S. v. altoensis* ($p < 0.0001$). Pero no se encontraron diferencias entre *S. v. altoensis* de Santa Inés y *S. v. veraecrucis* de Cerro San Felipe ($p = 1$). En adición, *S. v. veraecrucis* de Cerro San Felipe se agrupó muy cerca de *S. v. altoensis* de Santa Inés en el espacio morfológico del LDA, presentando la segunda distancia más corta entre grupos ($d = 5.4$). El fenograma obtenido a partir de estas distancias agrupó juntas a estas dos localidades (Fig. 19). Por estas razones, en la presente investigación se propone que los ejemplares citados como *S. v. veraecrucis* de Cerro San Felipe podrían corresponder morfológicamente a la especie *S. v. altoensis*.

Woodman (2018) propuso citar a las especies como *Sorex altoensis* y *Sorex veraecrucis*, aunque el autor no mencionó las evidencias con las que llegó a esas conclusiones. Es así que, a partir de esta propuesta y de las evidencias morfológicas mencionadas anteriormente, y surge la pregunta ¿pueden *Sorex veraecrucis veraecrucis* y *Sorex veraecrucis altoensis* considerarse especies diferentes?

Para tener información que apoye esta propuesta o sustente la hipótesis de que ambas son subespecies, se considera necesario realizar un análisis filogenético.

Sorex veraecrucis altoensis se caracteriza por la longitud de la pata trasera ≥ 14 mm; anchura craneal ≥ 8 mm; longitud de la hilera maxilar de dientes (LHMD) < 6.9 mm. Se distingue de *Sorex veraecrucis veraecrucis* por ser más pequeña en longitud total, longitud de la cola, longitud del paladar, longitud de los molares maxilares y mandibulares y longitud de la mandíbula.

8.9 La variación morfológica de *Sorex veraepacis mutabilis* a través de su distribución en el estado de Oaxaca

La discusión morfológica en *Sorex veraepacis mutabilis* ha dado lugar a cambios de especies (Carraway, 2007), que luego fueron apoyados por evidencia molecular (Esteva et al. 2010). En el presente estudio se ha reunido una gran colección de variables morfológicas con el fin de distinguir de forma cuantitativa entre taxones. Al comparar estos datos entre las localidades de *S. v. mutabilis* se encontraron diferencias fundamentales.

En primer lugar, el grado de divergencia morfológica entre localidades fue tal que resultó en cuatro grupos morfológicos bien delimitados por el análisis discriminante (Fig. 18). En el gráfico que representa los dos primeros ejes discriminantes, los ejemplares de Cerro Zempoaltepetl se distinguieron claramente de los de Peña Blanca y Cerro San Felipe en ambos ejes, pero se agruparon cerca de la localidad Totontepec. Esto fue confirmado con las distancias calculadas entre centroides ($d = 25, 22$ y 7.1 ; Fig. 19). Los grupos de Totontepec y Cerro Zempoaltepetl se separaron únicamente por el eje discriminante uno.

Una segunda evidencia la proporcionó el análisis de agrupamiento, en el cual los cuatro grupos correspondientes a las localidades de *S. v. mutabilis* quedaron separadas quedaron agrupadas por separado. Únicamente se mantuvo la cercanía entre Cerro Zempoaltepetl y Totontepec (Fig. 19).

El análisis de varianza entre los grupos de los dos primeros ejes discriminantes sustentó las diferencias encontradas entre las localidades. Todas las localidades de *S. v. mutabilis* fueron diferentes entre sí en el eje uno ($p < 0.0001$). Mientras que en el eje dos, se encontraron diferencias entre casi todos los grupos, excepto entre las localidades Totontepec y Cerro Zempoaltepetl ($p = 1$, Anexo 1).

Por otro lado, la revisión de la literatura señaló que los caracteres morfológicos de los ejemplares de la localidad 1 (Cerro San Felipe; Fig. 3) se ajusta bien con la morfología descrita para *S. v. mutabilis* (ver Carraway, 2007), pero no así los ejemplares de las localidades 4 (Cerro Zempoaltepetl), 8 (Peña Blanca) y 5 (Totontepec). Los ejemplares de las localidades 4 y 5 son más grandes en varios caracteres, entre ellos la longitud total (LT), longitud cóndilobasal (LOCB) y la longitud de los molares (LMS1, LMS2 y LMS3), mientras que los ejemplares de la localidad 8 son más pequeños. Pero las variables anchura de la placa cigomática (APCI), longitud del primer canino (LOC1) y longitud del premolar mandibular (LOPR) de los ejemplares de la localidad 8 son más grandes que en las localidades 1, 4 y 5. De hecho, la longitud de la pata (LP) en los ejemplares de la localidad 8 es más grande que en la localidad 1. Finalmente, después de examinar la información morfológica sobre los taxa de *Sorex* distribuidos de México a Honduras (Carraway, 2007; Woodman et al. 2012; Ceballos, 2014), los caracteres de los ejemplares de las localidades 4, 5 y 8 tampoco se ajustan con algún taxón de *Sorex* contenido en esas obras.

Por lo tanto, sobre dicho conjunto de evidencia, se puede concluir que los ejemplares de las localidades 4, 5 y 8 representan tres morfotipos diferentes (ver Anexo 1) que no corresponden con las características de *S. v. mutabilis*, ni con las de otra especie conocida.

Los ejemplares de la localidad Cerro Zempoaltepetl (morfotipo 1, Anexo 1) se caracterizan por una longitud total ≥ 126 mm, longitud cóndilo-basal > 18 mm, anchura de la caja craneal > 8.5 mm, anchura entre los segundos molares > 4.7 mm, longitud de la hilera maxilar de dientes > 7 mm. Son más grandes que *Sorex veraepacis mutabilis* y el morfotipo 2 (Peña Blanca), pero muy similares al morfotipo 3. Se distinguen

significativamente de *Sorex veraepacis mutabilis* por una mayor longitud de la cola, longitud de la pata, longitud del paladar, longitud de la mandíbula superior e inferior y longitud del incisivo inferior. Y de *Sorex* morfotipo 2 (Peña Blanca) por ser más grande en longitud total, longitud de la cola, longitud condilobasal, longitud de los dientes y longitud de la uña media. Se distingue significativamente de *Sorex* morfotipo 3 (Totontepec) por la longitud total, longitud de la cola y la anchura entre los primeros dientes unicuspides.

Los ejemplares de la localidad Peña Blanca (morfotipo 2) se caracterizan por su longitud total ≥ 100 mm, longitud condilobasal ≥ 15.3 mm y longitud del paladar ≥ 6.9 mm. Se distinguen por ser más grandes que *Sorex veraepacis mutabilis* y *Sorex* (morfotipos 1 y 3) en la anchura de la placa cigomática, la longitud del primer canino y la longitud del premolar mandibular. Se distingue de *Sorex veraepacis mutabilis* en la longitud de la pata, la anchura interorbital, longitud de la mandíbula, longitud de la uña media y longitud del paladar. Se distingue de *Sorex veraecrucis veraecrucis* principalmente por tener una mandíbula más pequeña, con diferencias importantes en la anchura entre los segundos molares (AMAX), la longitud del paladar (LOPA), la longitud de la hilera maxilar de dientes (LHMD), la longitud de los molares (LOMO), la longitud de los dientes unicuspides (LOUN) y la longitud del premolar (LOPM), pero es más grande en la longitud de la pata. Son más pequeñas que los morfotipos 1 y 3 en la longitud del cuerpo, la anchura entre los segundos molares, la longitud del paladar, la longitud de la mandíbula y maxila y la longitud del incisivo.

Los ejemplares de la localidad Totontepec (morfotipo 3) se distinguen morfológicamente por la longitud de la pata trasera ≥ 14 mm; anchura craneal ≥ 9 mm; longitud de la hilera maxilar de dientes (LHMD) < 6.9 mm. Se diferencian de *Sorex veraepacis mutabilis* por una mayor longitud corporal y mayor tamaño en caracteres

craneales, excepto altura del proceso coronoide y longitud de la uña media. Se distinguen de *Sorex saussurei* por una mayor longitud cóndilobasal, anchura interorbital, anchura del proceso coronoide, altura del cóndilo articular, longitud del paladar y longitud de la mandíbula. Se distinguen de los ejemplares de Peña Blanca (morfortipo 2) por ser mayores en longitud total y en longitud de la cola, también es más grande en longitud y ancho del cráneo, ancho de la placa cigomática, en el ancho entre los dientes unicúspides y los molares, longitud del paladar, longitud de la hilera de dientes y longitud de la uña media.

9. CONCLUSIONES

1. Este estudio permitió identificar importantes diferencias cromosómicas y morfológicas entre algunas especies de los géneros *Cryptotis* y *Sorex* distribuidas en México, así como entre poblaciones de estas especies.
2. Los arreglos cromosómicos encontrados en *Cryptotis magnus* y *Cryptotis mexicanus*, así como en *Sorex veraepacis mutabilis* y *Sorex veraecrucis* fueron todos diferentes entre sí, tanto número cromosómico como en morfología. Por ello se rechazó la hipótesis uno de esta investigación.
3. Con base en las similitudes cromosómicas entre especies de musarañas del género *Blarina*, se esperaba que el arreglo cromosómico de *Cryptotis magnus* y *Cryptotis mexicanus* fuera similar. Contrario a esto, su arreglo cromosómico presentó grandes diferencias entre sí tanto en tamaño como en forma. Estas diferencias fueron incluso mayores que las halladas entre *Sorex veraepacis mutabilis* y *Sorex veraecrucis*.
4. A pesar de que la magnitud de la variación morfológica de las especies de *Cryptotis* y *Sorex* estudiadas fue relativamente pequeña, hubo diferencias importantes entre las especies y entre los ejemplares de diferentes localidades.
5. El análisis linear discriminante permitió conocer las variables que ayudan a diferenciar entre las especies de *Cryptotis* y *Sorex* incluidas en esta investigación. También permitió conocer las variables que discriminan entre los ejemplares de diferentes localidades. En la mayoría de los casos, estas variables provienen de la zona mandibular del cráneo.
6. A partir de la información obtenida en esta investigación, se sugiere que las estructuras más variables e importantes para diferenciar entre las especies estudiadas de *Cryptotis* y de *Sorex* se encuentran en la zona de la mandíbula, y se

relacionan principalmente con el tamaño de los dientes y el tamaño de estructuras como el cóndilo articular y el proceso coronoide.

7. La hipótesis número cuatro de esta investigación fue rechazada, ya que la evidencia morfológica demostró que *Cryptotis goldmani goldmani*, *Cryptotis goldmani machetes* y *Cryptotis peregrinus* son grupos morfométricamente diferentes.
8. Los ejemplares identificados como *Cryptotis mexicanus*, de las localidades Totontepec y Cerro Zempoaltepetl son morfológicamente diferentes a los ejemplares de la localidad Los Reyes. También son diferentes a otras especies conocidas del grupo *C. mexicanus*. Por lo tanto en esta investigación fueron reconocidos como morfotipos diferentes.
9. La subespecie *Sorex veraecrucis altoensis* se distinguió morfométricamente del resto de las especies de *Sorex* estudiadas.
10. Con base en sus características morfométricas y en las importantes diferencias con el resto de las especies, se propone que *Sorex veraecrucis altoensis* y *Sorex veraecrucis veraecrucis* podrían corresponder a especies diferentes: *Sorex altoensis* y *Sorex veraecrucis*. Es necesario un análisis morfológico y genético que permita obtener información concluyente sobre la posición taxónomica de estas subespecies.
11. Se identificaron cuatro morfotipos diferentes a partir de los ejemplares reconocidos como *Sorex veraepacis mutabilis*. Las características de los ejemplares Cerro San Felipe corresponden con la descripción de esta especie, pero los ejemplares de las tres localidades restantes difieren de forma importante, tanto de esta especie, como de otras especies relacionadas.

10. PERSPECTIVAS

1. Este estudio presenta los primeros datos del cariotipo de algunas especies de musarañas en México. De esta manera se sientan las bases de un largo y extraordinario camino hacia el estudio de la variación cromosómica de las musarañas mexicanas.
2. Los resultados obtenidos en este estudio evidencian la importancia de realizar un estudio enfocado en conocer la historia evolutiva, patrones de distribución y evolución cromosómica de las musarañas del género *Cryptotis*, en especial de *Cryptotis magnus*.
3. A partir de los resultados de esta investigación, surge la necesidad de una revisión morfológica más amplia de los ejemplares de la especie *C. mexicanus* que incluya ejemplares a lo largo de toda su distribución.
4. Con base en las diferencias morfológicas obtenidas de los ejemplares de *Sorex veraepacis mutabilis*, surge la necesidad de hacer un análisis más amplio, que incorpore información genética de los ejemplares de sus diferentes localidades, para confirmar su identidad taxonómica.
5. Las especies de *Sorex* distribuidas en México siguen siendo poco estudiadas. Los datos morfológicos y cariotípicos son limitados o inexistentes y como consecuencia la posición taxonómica de algunos taxones no está clara aún. A partir de los resultados de esta investigación surgen dudas razonables sobre el arreglo taxonómico de varios taxones de *Sorex*. Por lo anterior, se considera que es necesario hacer un análisis morfológico, genético y ecológico más extenso de las musarañas del género *Sorex* distribuidas en México.

11. LITERATURA CITADA

- ARBOUR, J. H. Y C. M. BROWN. 2014. Incomplete specimens in geometric morphometric analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 5: 16-26.
- BAIRD, A. B., MCCARTHY, T. J., TRUJILLO, R. G., KANG, Y. Y., ESMAEILIYAN, M., VALDEZ, J., WOODMAN, N Y BICKHAM, J. W. 2018. Molecular systematics and biodiversity of the *Cryptotis mexicanus* group (Eulipotyphla: Soricidae): two new species from Honduras supported. *Systematics and Biodiversity*, 16(2), 108-117.
- BAKER, R. J. (1984). A sympatric cryptic species of mammal: a new species of *Rhogeessa* (Chiroptera: Vespertilionidae). *Systematic Biology*, 33(2), 178-183.
- BECK, R. M., BININDA-EMONDS, O. R., CARDILLO, M., LIU, F. G. R., Y PURVIS, A. (2006). A higher-level MRP supertree of placental mammals. *BMC Evolutionary Biology*, 6(1), 93.
- BETZ, F., P. WESTFALL Y T. HOTHORN. 2010. *Multiple comparisons using R*. Chapman y Hall, Florida, EUA.
- BILTUEVA, L. S., ROGATCHEVA, M. B., PERELMAN, P. L., BORODIN, P. M., ODA, S. I., KOYASU, K., HARADA, M., ZIMA, J. Y GRAPHODATSKY, A. S. 2001. Chromosomal phylogeny of certain shrews of the genera *Crocidura* and *Suncus* (Insectivora). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 39, 69-76.
- BILTUEVA, L. S., PERELMAN, P. L., ROAATCHEVA, M. B., FEDOROVA, E. L., VOROBIEVA, N. V., HARADA, M. Y GRAPHODATSKY, A. S. 1999. Comparative cytogenetics of some species of *Crocidura* (Insectivora) with 2n= 40. *Cytologia*, 64(3), 293-299.
- BRIONES-SALAS, M., CORTÉS-MARCIAL, M. Y LAVARIEGA, M. C. 2015. Diversidad y distribución geográfica de los mamíferos terrestres del estado de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(3), 685-710.
- CARRAWAY, L. N. 1985. *Sorex pacificus*. *Mammalian Species*, 231, 1-5.
- CARRAWAY, L. N. 2007. Shrews (Eulipotyphla: Soricidae) of Mexico. *Monographs of the Western North American Naturalist*, 3(1), 1-91.
- CEBALLOS, G. (ED.). 2014. *Mammals of Mexico*. JHU Press.

- CHOATE, J. R. 1970. Systematics and zoogeography of Middle American shrews of the genus *Cryptotis*. University of Kansas Publications of the Museum of Natural History, 19,195-317.
- DE LUNA, E. 2020. Integrando análisis morfométricos y filogenéticos: de la sistemática fenética a la morfometría filogenética. Acta Botánica Mexicana 127.
- DIPPENAAR, N. J. 1977. Variation in *Crocidura mariquensis* (A. Smith, 1844) in southern Africa, Part 1 (Mammalia: Soricidae). Annals of the Transvaal Museum, 30(16), 163-206.
- DUBEY, S., SALAMIN, N., OHDACHI, S. D., BARRIERE, P. Y VOGEL, P. 2007. Molecular phylogenetics of shrews (Mammalia: Soricidae) reveal timing of transcontinental colonizations. Molecular phylogenetics and evolution, 44(1), 126-137.
- ESTEVA, M., CERVANTES, F. A., BRANT, S. V. Y COOK, J. A. 2010. Molecular phylogeny of long-tailed shrews (genus *Sorex*) from México and Guatemala. Zootaxa, 2615(1), 47-65.
- GAINES, M., Y MCCLENAGHAN, L. 1980. Dispersal in Small Mammals. Annual Review of Ecology and Systematics, 11 (1), 163-196.
- GENOWAYS, H. H. Y CHOATE, J. R. 1972. A multivariate analysis of systematic relationships among populations of the short-tailed shrew (genus *Blarina*) in Nebraska. Systematic Biology, 21(1), 106-116.
- GENOWAYS, H. H., PATTON, J. C. Y CHOATE, J. R. 1977. Karyotypes of shrews of the genera *Cryptotis* and *Blarina* (mammalia: Soricidae). Experientia, 33(10), 1294-1295.
- GEORGE, S. B., GENOWAYS, H. H., CHOATE, J. R. Y BAKER, R. J. 1982. Karyotypic relationships within the short-tailed shrews, genus *Blarina*. Journal of Mammalogy, 63(4), 639-645.
- GBIF (GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY, 2019). Consultado el 10 de abril de 2019. GBIF.org. Disponible en <http://doi.org/10.15468/dl.fcv9tk>
- GUEVARA, L. 2015. *Sistemática y nicho ecológico de musarañas del género Cryptotis (Mammalia: Soricomorpha)*. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- GUEVARA, L., CERVANTES, F. A. y SÁNCHEZ-CORDERO, V. 2015. Riqueza, distribución y conservación de los topos y las musarañas (Mammalia, Eulipotyphla) de México. *Therya*, 6(1), 43-68.
- GUEVARA, L. Y CERVANTES, F. A. 2014. Molecular systematics of small-eared shrews (Soricomorpha, Mammalia) within *Cryptotis mexicanus* species group from Mesoamérica. *Acta Theriologica*, 59(2), 233-242.
- GUEVARA, L., SÁNCHEZ-CORDERO, V., LEÓN-PANIAGUA, L. Y WOODMAN, N. 2014. A new species of small-eared shrew (Mammalia, Eulipotyphla, *Cryptotis*) from the Lacandona rain forest, Mexico. *Journal of Mammalogy*, 95(4), 739-753.
- GUEVARA, L. Y SÁNCHEZ-CORDERO, V. 2018. Patterns of morphological and ecological similarities of small-eared shrews (Soricidae, *Cryptotis*) in tropical montane cloud forests from Mesoamerica. *Systematics and Biodiversity*, 16(6), 551-564.
- HALL, E. R. 1981. *The mammals of North America*. John Wiley y Sons, New York, 2a ed. Vol. 1.
- HE, K., WOODMAN, N., BOAGLIO, S., ROBERTS, M., SUPEKAR, S. Y MALDONADO, J. E. 2015. Molecular phylogeny supports repeated adaptation to burrowing within small-eared shrews genus of *Cryptotis* (Eulipotyphla, Soricidae). *PloS one*, 10(10), 95-119.
- HIJMANS, R. J., CAMERON, S., PARRA, J., JONES, P. G., JARVIS, A. Y RICHARDSON, K. 2005. WorldClim, version 1.3. Universidad de California, Berkeley.
- HIJMANS, R. J., CAMERON, S., PARRA, J., JONES, P., JARVIS, A. Y RICHARDSON, K. 2005. WorldClim-global climate data. Superficies climáticas interpoladas de muy alta resolución para áreas terrestres globales.
- ITIS (Integrated Taxonomic Information System, 2019). Base de datos revisada el 20 de junio de 2019 en <http://www.itis.gov>.
- INEGI, 2013. Edafología. México. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx>
- JACKSON, H. H. T. 1925. Preliminary descriptions of seven shrews of the genus *Sorex*. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 38: 127-130.

- JACKSON, H. H. T. 1928. A taxonomic review of the American long-tailed shrews: (Genera *Sorex* and *Microsorex*). North American Fauna, 1-238.
- JACKSON, H. H. T. 1933. Five new shrews of the genus *Cryptotis* from Mexico and Guatemala. Proceedings of the Biological Society of Washington, 46, 79-82.
- JACQUET, F., NICOLAS, V., BONILLO, C., CRUAUD, C. Y DENYS, C. 2012. Barcoding, molecular taxonomy, and exploration of the diversity of shrews (Soricomorpha: Soricidae) on Mount Nimba (Guinea). Zoological Journal of the Linnean Society, 166(3), 672-687.
- JONES JR, K. Y GENOWAYS, H. H. 1967. Notes on the Oaxacan vole, *Microtus oaxacensis* Goodwin, 1966. Journal of Mammalogy, 48:320–321.
- LOOHACH, R. Y GARG, K. 2012. Effect of distance functions on k-means clustering algorithm. International Journal of Computer Applications, 49(6), 7-9.
- MATSON, J. O. Y ORDONEZ-GARZA, N. 2017. The taxonomic status of Long-tailed shrews (Mammalia: genus *Sorex*) from Nuclear Central America. Zootaxa, 4236(3), 461-483.
- MAYEN-ZARAGOZA, M., GUEVARA, L., HERNÁNDEZ-CANCHOLA, G. Y LEÓN-PANIAGUA, L. 2019. First record of shrews (Eulipotyphla, Soricidae) in the Sierra de Otontepec, an isolated mountain in Veracruz, Mexico. Therya, 10(1), 59-63.
- MAYR, E. 1953. Concepts of classification and nomenclature in higher organisms and microorganisms. Annals of the New York Academy of Sciences, 56(3), 391-397.
- MERRIAM, C. H. 1895. Revision of the shrews of the American genera *Blarina* and *Notiosorex*. North American Fauna, 1-34.
- MILLER Jr, G. S. 1911. Three new shrews of the genus *Cryptotis*. Proceedings of the Biological Society of Washington, 24: 221-224.
- MIYAMOTO, M. M., KOOP, B. F., SLIGHTOM, J. L., GOODMAN, M. Y TENNANT, M. R. 1988. Molecular systematics of higher primates: genealogical relations and classification. Proceedings of the National Academy of Sciences, 85(20), 7627-7631.
- MONCRIEF, N. D., CHOATE, J. R. Y GENOWAYS, H. H. 1982. Morphometric and geographic relationships of short-tailed shrews (genus *Blarina*) in Kansas, Iowa, and Missouri. Mammalogy Papers: University of Nebraska State Museum. 182.

- MORENO, A. S. 2014. LOS MAMIFEROS DE OAXACA. *Revista Mexicana de Mastozoología (nueva época)*, 4(2), 18-32.
- MORRONE, J. J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 76(2), 207-252.
- MOTOKAWA, M., HARADA, M., WU, Y., LIN, L. K. Y SUZUKI, H. 2001. Chromosomal polymorphism in the gray shrew *Crocidura attenuata* (Mammalia: Insectivora). *Zoological science*, 18(8), 1153-1160.
- OKSANEN, J., BLANCHET, F. G., KINDT, R., LEGENDRE, P. Y O'HARA, R. B. 2018. *Vegan: community Ecology Package*.
- OWEN, J. G. Y HOFFMANN, R. S. 1983. *Sorex ornatus*. *Mammalian Species*, (212), 1-5.
- PATTON, J. L. 1967. Chromosome studies of certain pocket mice genus *Perognathus* (Rodentia: Heteromyidae). *Journal of Mammalogy*, 48(1), 27-37.
- POLLY, P. D., POLYAKOV, A. V., ILYASHENKO, V. B., ONISCHENKO, S. S., WHITE, T. A., SHCHIPANOV, N. A., BULATOVA, N. S., PAVLOVA, S. V., BORODIN, P. M. Y SEARLE, J. B. 2013. Phenotypic variation across chromosomal hybrid zones of the common shrew (*Sorex araneus*) indicates reduced gene flow. *PloS one*, 8(7), 1-12.
- POROSHIN, E. A., POLLY, P. D. Y WÓJCIK, J. M. 2010. Climate and morphological change on decadal scales: Multiannual variation in the common shrew *Sorex araneus* in northeast Russia. *Acta Theriologica*, 55(3), 193-202.
- QUIROGA-CARMONA, M. Y MOLINARI, J. 2012. Description of a new shrew of the genus *Cryptotis* (Mammalia: Soricomorpha: Soricidae) from the Sierra de Aroa, an isolated mountain range in northwestern Venezuela, with remarks on biogeography and conservation. *Zootaxa*, 3441(1), 1-20.
- RAMÍREZ-PULIDO, J., CASTILLO-MORALES, A., SALAME-MÉNDEZ, A. Y CASTRO-CAMPILLO, A. (2004). Características morfológicas y morfométricas de cinco especies de *Cryptotis* (Mammalia: Soricomorpha). *Acta zoológica mexicana*, 20(2), 9-37.
- RAMÍREZ-PULIDO, J., GONZÁLEZ-RUIZ, N., GARDNER, A. L. Y ARROYO-CABRALES, J. 2014. List of recent land mammals of Mexico, 2014. Special Publications. Museum of Texas Tech University.

- RAUSCH, V. R. Y RAUSCH, R. L. 2004. Karyotype of *Sorex merriami* Dobson, 1890 (Mammalia: Soricidae). *Mammalian Biology*, 69(4), 270-272.
- REPENNING, C. A. 1967. Subfamilies and genera of the Soricidae (No. 565). US Government Print. Office.
- REUMER, J. W. F. Y MEYLAN, A. 1986. New developments in vertebrate cytotaxonomy IX Chromosome numbers in the order Insectivora (Mammalia). *Genetica*, 70(2), 119-151.
- RIPLEY, B., VENABLES, B., BATES, D. M., HORNIK, K., GEBHARDT, A., FIRTH, D. Y RIPLEY, M. B. 2013. MASS Package.
- RYSZKOWSKI, L. 1975. The Ecosystem Role of Small Mammals. *Ecological Bulletins*, (19), 139-145.
- SAKIA, R. M. 1992. Box-Cox transformation technique: a review. *Statistician* 41: 169–178.
- SEARLE, J. B. Y WILKINSON, P. J. 1987. Karyotypic variation in the common shrew (*Sorex araneus*) in Britain—a “Celtic Fringe”. *Heredity*, 59(3), 345-351.
- SEARLE, J. B. Y WÓJCIK, J. M., 1998. Chromosomal evolution: The case of *Sorex araneus*. En: WOJCIK, J. M. Y WOLSAN, M. (eds.), *Evolution of shrews*. Mammal Research Institute PAS, Białowieża, 458 pp.
- SIKES, R. S. Y ANIMAL CARE AND USE COMMITTEE OF THE AMERICAN SOCIETY OF MAMMALOGISTS. 2016. 2016 Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research and education. *Journal of Mammalogy*, 97(3), 663-688.
- SITES JR, J. W. Y MARSHALL, J. C. 2003. Delimiting species: a Renaissance issue in systematic biology. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(9), 462-470.
- SMITH, M. Y BELK, M. 1996. *Sorex monticolus*. *Mammalian Species*, (528), 1-5.
- SMITH, R. J. 1993. Logarithmic transformation bias in allometry. *American Journal of Physical Anthropology*, 90: 215-228.
- SYMONDS, M. R. 2005. Phylogeny and life histories of the ‘Insectivora’: controversies and consequences. *Biological Reviews*, 80(1), 93-128.

- THOMAS, K. R. 1976. Craniometric Variation in Seven Species of Small Mammals in Relation to Environmental and Competitive Factors. Louisiana State University and Agricultural & Mechanical College.
- THOMPSON, C. W. Y HOFFMAN, J. D. 2009. Karyotype designation and habitat description of the northern short-tailed shrew (*Blarina brevicauda*, Say) from the type locality. *Jeffersoniana*, 22, 1-5.
- VAN VALEN, L. 1965. Morphological variation and width of ecological niche. *The American Naturalist*, 99(908), 377-390.
- VENDITTI, C., MEADE, A., Y PAGEL, M. 2011. Multiple routes to mammalian diversity. *Nature*, 479(7373), 393-396.
- VIA, S., GOMULKIEWICZ, R., DE JONG, G., SCHEINER, S. M., SCHLICHTING, C. D. Y VAN TIENDEREN, P. H. 1995. Adaptive phenotypic plasticity: consensus and controversy. *Trends in Ecology & Evolution*, 10(5), 212-217.
- VOLOBOUEV, V. T. Y JONG, C. G. V. Z. D. 1994. Chromosome banding analysis of two shrews of the cinereus group: *Sorex haydeni* and *Sorex cinereus* (Insectivora, Soricidae). *Canadian Journal of Zoology*, 72(5), 958-964.
- WALKER, L. I. Y SPOTORNO, A. E. 1992. Tandem and centric fusions in the chromosomal evolution of the South American phyllotines of the genus *Auliscomys* (Rodentia, Cricetidae). *Cytogenetic and Genome Research*, 61(2), 135-140.
- WILSON, D. E. Y REEDER, D. M. 2011. Class Mammalia Linnaeus, 1758. En: *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness* (Zhang, Z.-Q., Ed.). *Zootaxa* 3148:56-60.
- WÓJCIK, J. M., BORODIN, P. M., FEDYK, S., FREDGA, K., HAUSSER, J., MISHTA, A. Y ORLOV, V. N. 2003. The list of the chromosome races of the common shrew *Sorex araneus* (updated 2002). *Mammalia*, 67(2), 169-178.
- WOODMAN, N. 1992. Biogeographical and evolutionary relationships among Central American small-eared shrews of the genus *Cryptotis* (Mammalia: Insectivora: Soricidae). (Doctoral dissertation, University of Kansas).
- WOODMAN, N. Y TIMM, R. M. 1993. Intraspecific and interspecific variation in the *Cryptotis nigrescens* species complex of small-eared shrews (Insectivora:

- Soricidae), with the description of a new species from Colombia. *Fieldiana: Zoology*, 74, 1-30.
- WOODMAN, N. Y TIMM, R. M. 1999. Geographic variation and evolutionary relationships among broad-clawed shrews of the *Cryptotis goldmani*-group (Mammalia: Insectivora: Soricidae). *Fieldiana: Zoology* (n. s.), 91, 1-35.
- WOODMAN, N. Y TIMM, R. M. 2000. Taxonomy and evolutionary relationships of Phillips' small-eared shrew, *Cryptotis phillipsii* (Schaldach, 1966), from Oaxaca, México (Mammalia: Insectivora: Soricidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 113,339-355.
- WOODMAN, N., Y MORGAN, J. J. 2005. Skeletal morphology of the forefoot in shrews (Mammalia: Soricidae) of the genus *Cryptotis*, as revealed by digital X-rays. *Journal of Morphology*, 266(1), 60-73.
- WOODMAN, N. 2011. Patterns of morphological variation amongst semifossorial shrews in the highlands of Guatemala, with the description of a new species (Mammalia, Soricomorpha, Soricidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 163(4), 1267-1288.
- WOODMAN, N. 2015. Morphological variation among broad-clawed shrews (Mammalia: Eulipotyphla: Soricidae: *Cryptotis* Pomel, 1848) from highlands of western Honduras, with descriptions of three new cryptic species. *Annals of Carnegie Museum*, 83(2), 95-119.
- WOODMAN, N. 2018. American Recent Eulipotyphla Nesophontids, Solenodons, Moles and Shrews in the New World. *Smithsonian Contributions to Zoology*. 650
- WOODMAN, N., MATSON, J. O., MCCARTHY, T. J., ECKERLIN, R. P., BULMER, W. Y ORDÓÑEZ-GARZA, N. 2012. Distributional records of shrews (Mammalia, Soricomorpha, Soricidae) from Northern Central America with the first record of *Sorex* from Honduras. *Annals of Carnegie Museum*, 80(3), 207-237.
- WRIGHT, S. 1941. On the probability of fixation of reciprocal translocations. *The American Naturalist*, 75(761), 513-522.
- ZACARÍAS-ESLAVA, Y. Y DEL CASTILLO, R. F. 2010. Temperate plant communities in the Sierra Juárez, Oaxaca: altitudinal levels and implications associated with climate change. *Botanical Sciences*, 87, 13-28.

- ZAR, J. H. 2010. Biostatistical analysis. Prentice Hall. New Jersey, EUA.
- ZHANG, Z. Q. 2011. Animal biodiversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. Magnolia press, New Zealand.
- ZIDAROVA, S. 2015. Is there sexual size dimorphism in shrews? A case study of six European species of the family Soricidae. *Acta Zoologica Bulgarica*, 67, 19-34.
- ZIMA, J., FEDYK, S., FREDGA, K., HAUSSER, J., MISHTA, A., SEARLE, J. B., VOLOBOUEV, V. T. Y WÓJCIK, J. M. 1996. International *Sorex araneus* Cytogenetics Committee (ISACC). The list of the chromosome races of the common shrew (*Sorex araneus*). *Hereditas*, 125(2-3), 97-107.
- ZIMA, J. 2000. Chromosomal evolution in small mammals (Insectivora, Chiroptera, Rodentia). *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, (n.s.) 11(2), 5-15.

ANEXO 1

Cuadro 1. Medidas corporales, craneales y de extremidad anterior (en mm) de ejemplares de cinco especies de musarañas del género *Cryptotis*. Datos: promedio \pm la desviación estándar y los valores mínimo y máximo. Número de ejemplares entre paréntesis. Abreviaturas de las variables se describen en la sección de materiales y métodos.

	<i>C. mexicanus</i> (n=41)	<i>C. magnus</i> (n=32)	<i>C. g.</i> <i>goldmani</i> (n=11)	<i>C. g.</i> <i>machetes</i> (n=12)	<i>C. peregrinus</i> (n=22)
LT	96.56 \pm 4.03 89 - 106	130.97 \pm 7.65 113 - 143	102.36 \pm 5.99 90 - 113	104.36 \pm 6.95 91 - 114	100.68 \pm 7.58 70 - 110
LC	27.10 \pm 2.11 23 - 31	45.63 \pm 4.12 39 - 58	28.98 \pm 2.26 23 - 31	30.67 \pm 2.31 26.98 - 36	29.86 \pm 2.46 24 - 33
LP	13.06 \pm 0.34 12 - 14	16.38 \pm 2.30 11 - 27	13.34 \pm 0.70 12 - 14.5	14.27 \pm 0.67 13 - 15	13.80 \pm 0.53 13 - 15
CC	69.46 \pm 3.05 63 - 76	85.34 \pm 7.49 69 - 100	73.38 \pm 5.46 61 - 84	73.69 \pm 7.88 61 - 84	70.82 \pm 6.07 46 - 78
LOCB	18.45 \pm 0.48 17.41 - 19.69	22.65 \pm 0.37 21.81 - 23.38	19.48 \pm 0.43 18.86 - 20.2	19.62 \pm 1.14 16.47 - 20.96	19.15 \pm 0.40 18.46 - 19.78
ANCC	9.75 \pm 0.33 8.61 - 10.45	11.54 \pm 0.23 11.17 - 12.26	10.16 \pm 0.20 9.79 - 10.46	10.28 \pm 0.28 9.95 - 10.93	9.76 \pm 0.25 9.05 - 10.13
ANCI	4.79 \pm 0.16 4.49 - 5.29	5.53 \pm 0.14 5.31 - 6.03	4.98 \pm 0.19 4.79 - 5.27	4.99 \pm 0.14 4.64 - 5.21	4.76 \pm 0.11 4.5 - 4.91
PRCR	6.05 \pm 0.20 5.56 - 6.44	6.91 \pm 0.21 6.3 - 7.32	5.99 \pm 0.16 5.69 - 6.24	5.98 \pm 0.20 5.46 - 6.23	6.13 \pm 0.23 5.55 - 6.61
APCI	1.86 \pm 0.15 1.4 - 2.09	2.34 \pm 0.15 1.92 - 2.7	1.91 \pm 0.14 1.71 - 2.1	1.84 \pm 0.14 1.6 - 2.04	1.58 \pm 0.11 1.4 - 1.79
AU1M	2.38 \pm 0.10 2.12 - 2.57	3.18 \pm 0.09 2.98 - 3.34	2.50 \pm 0.07 2.41 - 2.63	2.53 \pm 0.12 2.38 - 2.73	2.43 \pm 0.09 2.57 - 2.12
AU2M	2.59 \pm 0.11 2.32 - 2.83	3.45 \pm 0.11 3.22 - 3.68	2.74 \pm 0.09 2.54 - 2.86	2.79 \pm 0.10 2.66 - 3.01	2.66 \pm 0.08 2.43 - 2.81
AU3M	2.82 \pm 0.12 2.51 - 3.07	3.63 \pm 0.11 3.37 - 3.9	2.90 \pm 0.10 2.72 - 3.03	2.96 \pm 0.11 2.78 - 3.14	2.81 \pm 0.08 2.6 - 2.95
AMAX	5.34 \pm 0.17 4.92 - 5.65	6.64 \pm 0.11 6.46 - 6.89	5.62 \pm 0.10 5.46 - 5.75	5.58 \pm 0.15 5.33 - 5.85	5.42 \pm 0.11 5.21 - 5.58
LOPA	7.78 \pm 0.26 7.27 - 8.37	9.99 \pm 0.16 9.5 - 10.28	8.30 \pm 0.18 8.06 - 8.61	8.43 \pm 0.39 7.41 - 8.89	8.08 \pm 0.21 7.56 - 8.4

LHMD	7.01 ± 0.20 6.45 - 7.42	9.01 ± 0.18 8.59 - 9.37	7.23 ± 0.23 6.95 - 7.64	7.37 ± 0.35 6.67 - 7.79	7.17 ± 0.14 6.77 - 7.35
LOMO	5.04 ± 0.15 4.69 - 5.37	6.18 ± 0.10 6 - 6.35	5.29 ± 0.17 5.09 - 5.62	5.36 ± 0.15 5.12 - 5.6	5.09 ± 0.12 4.68 - 5.25
LOUN	2.20 ± 0.11 1.87 - 2.38	3.07 ± 0.16 2.41 - 3.34	2.10 ± 0.17 1.67 - 2.27	2.26 ± 0.13 2.02 - 2.42	2.24 ± 0.08 1.99 - 2.39
LOPM	1.63 ± 0.07 1.47 - 1.81	2.03 ± 0.05 1.9 - 2.11	1.70 ± 0.07 1.55 - 1.77	1.72 ± 0.07 1.59 - 1.8	1.64 ± 0.05 1.72 - 1.54
LMS1	1.56 ± 0.06 1.43 - 1.76	1.95 ± 0.04 1.83 - 2.02	1.68 ± 0.06 1.54 - 1.76	1.68 ± 0.06 1.58 - 1.74	1.60 ± 0.07 1.51 - 1.77
LMS2	1.37 ± 0.06 1.25 - 1.48	1.71 ± 0.03 1.67 - 1.8	1.47 ± 0.07 1.37 - 1.6	1.51 ± 0.07 1.4 - 1.6	1.40 ± 0.04 1.35 - 1.48
LMS3	0.65 ± 0.05 0.56 - 0.79	0.78 ± 0.04 0.7 - 0.85	0.65 ± 0.03 0.62 - 0.7	0.63 ± 0.05 0.54 - 0.71	0.64 ± 0.04 0.58 - 0.72
LOMA	5.97 ± 0.26 5.5 - 6.64	7.19 ± 0.24 6.69 - 7.68	6.22 ± 0.23 5.86 - 6.71	6.43 ± 0.31 5.88 - 6.89	6.14 ± 0.22 5.45 - 6.46
ALPC	4.20 ± 0.19 3.8 - 4.59	5.96 ± 0.12 5.78 - 6.22	4.56 ± 0.20 4.28 - 4.91	4.48 ± 0.12 4.26 - 4.66	4.38 ± 0.18 3.78 - 4.59
ALVC	2.58 ± 0.17 2.31 - 3.35	3.32 ± 0.08 3.16 - 3.51	2.75 ± 0.11 2.58 - 2.98	2.76 ± 0.09 2.52 - 2.86	2.72 ± 0.18 2.09 - 2.95
LOCA	4.70 ± 0.21 4.3 - 5.13	5.83 ± 0.16 5.36 - 6.09	4.99 ± 0.19 4.75 - 5.32	5.18 ± 0.18 4.8 - 5.58	5.00 ± 0.19 4.56 - 5.32
ALCA	3.52 ± 0.16 3.21 - 3.93	4.50 ± 0.11 4.32 - 4.78	3.77 ± 0.16 3.54 - 4.02	3.85 ± 0.10 3.65 - 3.98	3.65 ± 0.17 3.09 - 3.9
LMAN	5.57 ± 0.18 5.25 - 6.10	6.80 ± 0.15 6.29 - 7.02	6.00 ± 0.16 5.8 - 6.3	6.06 ± 0.23 5.62 - 6.35	5.81 ± 0.12 5.38 - 5.93
LOMM	4.16 ± 0.12 3.9 - 4.48	5.14 ± 0.08 5.01 - 5.31	4.45 ± 0.13 4.31 - 4.69	4.45 ± 0.16 4.18 - 4.68	4.26 ± 0.13 3.79 - 4.41
LOM1	1.58 ± 0.07 1.41 - 1.83	1.90 ± 0.05 1.83 - 2.08	1.70 ± 0.08 1.6 - 1.87	1.73 ± 0.09 1.61 - 1.88	1.61 ± 0.07 1.44 - 1.73
LOM2	1.39 ± 0.07 1.24 - 1.67	1.72 ± 0.04 1.64 - 1.82	1.50 ± 0.06 1.41 - 1.61	1.55 ± 0.05 1.44 - 1.64	1.43 ± 0.03 1.36 - 1.48
LOM3	1.13 ± 0.05 1.04 - 1.26	1.46 ± 0.05 1.34 - 1.55	1.21 ± 0.05 1.1 - 1.29	1.23 ± 0.06 1.14 - 1.32	1.15 ± 0.05 1.06 - 1.23
LOC1	0.93 ± 0.08 0.73 - 1.11	1.13 ± 0.06 1.04 - 1.29	0.96 ± 0.05 0.87 - 1.06	1.02 ± 0.07 0.89 - 1.1	1.00 ± 0.07 0.9 - 1.14
LOPR	1.11 ± 0.08 0.96 - 1.27	1.52 ± 0.10 1.35 - 1.77	1.30 ± 0.06 1.2 - 1.37	1.26 ± 0.16 0.94 - 1.41	1.24 ± 0.09 1.11 - 1.42

LOIN	3.73 ± 0.16	5.31 ± 0.44	3.76 ± 0.16	3.60 ± 0.26	3.92 ± 0.12
	3.45 - 4.06	4.21 - 5.84	3.55 - 4.06	3.02 - 3.85	3.69 - 4.2
LCAR	2.80 ± 0.15	3.60 ± 0.09	3.04 ± 0.14	3.05 ± 0.09	2.92 ± 0.10
	2.3 - 3.06	3.40 - 3.79	2.79 - 3.3	2.86 - 3.16	2.71 - 3.06
UÑA D	2.40 ± 0.25	2.85 ± 0.22	2.95 ± 0.20	3.26 ± 0.36	2.81 ± 0.23
	1.99 - 3.41	2.36 - 3.3	2.68 - 3.34	2.87 - 4.3	2.18 - 3.24

Cuadro 2. Medidas corporales, craneales y de extremidad anterior (en mm) de ejemplares de *Cryptotis mexicanus* de tres localidades. Datos: promedio ± la desviación estándar y los valores mínimo y máximo. Número de ejemplares entre paréntesis. Abreviaturas de las variables se describen en la sección de materiales y métodos.

	Morfotipo 1	<i>Cryptotis mexicanus</i>	Morfotipo 2
	Loc. 1 Cerro Zempoaltepetl (n=18)	Loc. 2 Los Reyes (n=13)	Loc. 3 Totontepec (n=9)
LT	96.50 ± 4.09 90 - 106	94.46 ± 4.03 89 - 104	99.33 ± 2.00 95 - 102
LC	26.53 ± 2.55 23 - 31	26.54 ± 1.05 24 - 28	29.06 ± 1.13 27 - 31
LP	13.08 ± 0.31 12.5 - 14	12.92 ± 0.34 12 - 13.5	13.22 ± 0.36 13 - 14
CC	69.97 ± 2.97 65.5 - 76	67.92 ± 3.43 63 - 76	70.28 ± 1.82 67 - 73
LOCB	18.57 ± 0.50 17.49 - 19.69	18.07 ± 0.29 17.41 - 18.41	18.69 ± 0.33 18.17 - 19.08
ANCC	9.76 ± 0.38 8.61 - 10.45	9.61 ± 0.23 9.23 - 10.02	9.97 ± 0.23 9.65 - 10.35
ANCI	4.81 ± 0.14 4.49 - 5.15	4.68 ± 0.12 4.51 - 4.9	4.90 ± 0.17 4.71 - 5.29
PRCR	6.08 ± 0.21 5.64 - 6.44	5.92 ± 0.19 5.56 - 6.27	6.18 ± 0.11 5.99 - 6.39
APCI	1.88 ± 0.18 1.4 - 2.09	1.80 ± 0.10 1.68 - 1.98	1.86 ± 0.15 1.61 - 2.06
AU1M	2.37 ± 0.10 2.12 - 2.54	2.32 ± 0.07 2.21 - 2.43	2.48 ± 0.08 2.37 - 2.57
AU2M	2.58 ± 0.11 2.32 - 2.77	2.53 ± 0.09 2.41 - 2.68	2.70 ± 0.07 2.60 - 2.83

AU3M	2.79 ± 0.12 2.51 - 3.02	2.78 ± 0.10 2.61 - 2.93	2.94 ± 0.10 2.76 - 3.07
AMAX	5.34 ± 0.15 4.95 - 5.62	5.24 ± 0.17 4.92 - 5.53	5.49 ± 0.10 5.38 - 5.65
LOPA	7.76 ± 0.25 7.27 - 8.27	7.64 ± 0.21 7.35 - 8.02	7.96 ± 0.25 7.52 - 8.37
LHMD	6.99 ± 0.22 6.45 - 7.42	6.92 ± 0.17 6.60 - 7.11	7.18 ± 0.12 7.02 - 7.40
LOMO	5.02 ± 0.15 4.78 - 5.37	4.98 ± 0.14 4.69 - 5.15	5.18 ± 0.11 5.06 - 5.35
LOUN	2.20 ± 0.12 1.87 - 2.38	2.18 ± 0.11 1.97 - 2.35	2.23 ± 0.06 2.13 - 2.28
LOPM	1.64 ± 0.08 1.53 - 1.81	1.60 ± 0.07 1.47 - 1.70	1.67 ± 0.05 1.61 - 1.75
LMS1	1.57 ± 0.07 1.46 - 1.76	1.53 ± 0.05 1.43 - 1.62	1.58 ± 0.03 1.54 - 1.64
LMS2	1.39 ± 0.05 1.26 - 1.48	1.32 ± 0.04 1.25 - 1.39	1.41 ± 0.03 1.34 - 1.43
LMS3	0.63 ± 0.05 0.56 - 0.71	0.66 ± 0.03 0.61 - 0.73	0.69 ± 0.04 0.64 - 0.74
LOMA	6.06 ± 0.26 5.64 - 6.64	5.74 ± 0.16 5.50 - 5.99	6.08 ± 0.19 5.81 - 6.40
ALPC	4.21 ± 0.17 3.86 - 4.46	4.05 ± 0.15 3.80 - 4.23	4.37 ± 0.10 4.25 - 4.59
ALVC	2.54 ± 0.13 2.31 - 2.86	2.58 ± 0.25 2.36 - 3.35	2.63 ± 0.09 2.53 - 2.77
LOCA	4.76 ± 0.18 4.31 - 5.06	4.52 ± 0.15 4.30 - 4.79	4.82 ± 0.18 4.52 - 5.13
ALCA	3.52 ± 0.11 3.34 - 3.72	3.41 ± 0.14 3.21 - 3.69	3.68 ± 0.13 3.55 - 3.93
LMAN	5.54 ± 0.19 5.34 - 6.10	5.49 ± 0.14 5.25 - 5.63	5.73 ± 0.12 5.56 - 5.88
LOMM	4.15 ± 0.12 4.02 - 4.48	4.10 ± 0.10 3.90 - 4.23	4.25 ± 0.09 4.13 - 4.41
LOM1	1.58 ± 0.10 1.41 - 1.83	1.56 ± 0.05 1.43 - 1.62	1.61 ± 0.03 1.56 - 1.65
LOM2	1.38 ± 0.09 1.24 - 1.67	1.36 ± 0.04 1.30 - 1.45	1.42 ± 0.05 1.34 - 1.49

LOM3	1.13 ± 0.05 1.04 - 1.26	1.11 ± 0.05 1.04 - 1.18	1.17 ± 0.05 1.10 - 1.23
LOC1	0.89 ± 0.08 0.73 - 1.05	0.97 ± 0.08 0.86 - 1.11	0.95 ± 0.06 0.86 - 1.02
LOPR	1.10 ± 0.08 0.96 - 1.27	1.08 ± 0.06 0.98 - 1.16	1.17 ± 0.07 1.02 - 1.27
LOIN	3.71 ± 0.16 3.45 - 3.96	3.71 ± 0.15 3.49 - 3.89	3.80 ± 0.18 3.52 - 4.06
LCAR	2.78 ± 0.17 2.30 - 3.03	2.75 ± 0.11 2.62 - 2.93	2.91 ± 0.10 2.75 - 3.06
UÑA D	2.37 ± 0.32 1.99 - 3.41	2.44 ± 0.15 2.26 - 2.67	2.39 ± 0.22 2.17 - 2.89

Cuadro 3. Medidas corporales, craneales y de extremidad anterior (en mm) de ejemplares de cuatro especies de musarañas del género *Sorex*. Datos: promedio ± la desviación estándar y los valores mínimo y máximo. Número de ejemplares entre paréntesis. Abreviaturas de las variables se describen en la sección de materiales y métodos.

	<i>S. veraecrucis altoensis</i> (n=8)	<i>S. veraecrucis veraecrucis</i> (n=7)	<i>S. ventralis</i> (n=34)	<i>S. veraepacis mutabilis</i> (n=34)
LT	98.38 ± 11.28 80 - 110	113.10 ± 13.39 133 - 100	101.19 ± 9.52 116 - 84	117.73 ± 10.72 137 - 100
LC	36.93 ± 3.68 31 - 42	46.22 ± 8.38 58 - 38.51	35.32 ± 6.29 46 - 20	48.61 ± 7.09 61 - 37
LP	13.56 ± 1.29 12 - 16	14.11 ± 1.58 16 - 12	13.01 ± 1.52 19 - 10	14.58 ± 1.12 16.5 - 12
CC	61.45 ± 8.97 49 - 72	66.88 ± 6.78 75 - 55	65.87 ± 5.71 79 - 54	69.12 ± 5.61 79 - 55
LOCB	18.06 ± 1.89 16.34 - 22.51	18.32 ± 1.96 20.54 - 14.51	16.34 ± 3.07 18.48 - 1.14	17.81 ± 0.89 19.38 - 15.31
ANCC	8.56 ± 0.39 7.88 - 9	8.97 ± 0.70 9.98 - 8.03	8.43 ± 0.41 9.1 - 7.51	9.02 ± 0.39 9.74 - 8.45
ANCI	3.94 ± 0.28 3.45 - 4.27	4.04 ± 0.32 4.43 - 3.7	3.81 ± 0.29 4.19 - 3.29	4.00 ± 0.20 4.41 - 3.67
PRCR	5.30 ± 0.18 4.98 - 5.52	5.39 ± 0.47 5.97 - 4.58	5.19 ± 0.26 5.83 - 4.63	5.71 ± 0.31 6.22 - 5.12

APCI	1.36 ± 0.14 1.21 - 1.54	1.35 ± 0.08 1.42 - 1.23	1.26 ± 0.16 1.55 - 1	1.14 ± 0.15 1.63 - 0.89
AU1M	1.84 ± 0.11 1.61 - 1.97	1.87 ± 0.08 1.97 - 1.76	1.79 ± 0.11 1.96 - 1.6	1.82 ± 0.07 1.99 - 1.69
AU2M	2.04 ± 0.12 1.79 - 2.16	2.04 ± 0.06 2.09 - 1.92	1.94 ± 0.13 2.19 - 1.7	1.97 ± 0.09 2.15 - 1.77
AU3M	2.13 ± 0.12 1.93 - 2.23	2.14 ± 0.04 2.19 - 2.08	2.05 ± 0.14 2.34 - 1.78	2.09 ± 0.07 2.21 - 1.88
AU4M	2.38 ± 0.14 2.15 - 2.5	2.41 ± 0.05 2.47 - 2.34	2.29 ± 0.16 2.54 - 1.98	2.34 ± 0.08 2.5 - 2.18
AMAX	4.69 ± 0.20 4.35 - 4.91	4.76 ± 0.08 4.84 - 4.66	4.61 ± 0.23 4.93 - 4.18	4.73 ± 0.19 5.06 - 4.48
LOPA	7.28 ± 0.30 6.89 - 7.7	7.70 ± 0.54 8.46 - 7.2	7.07 ± 0.37 7.67 - 6.4	7.49 ± 0.39 8.1 - 6.88
LHMD	6.51 ± 0.22 6.18 - 6.85	6.86 ± 0.42 7.43 - 6.47	6.42 ± 0.31 6.95 - 5.85	6.81 ± 0.34 7.57 - 6.22
LOMO	4.42 ± 0.20 4.1 - 4.63	4.64 ± 0.18 4.86 - 4.43	4.27 ± 0.26 4.72 - 3.81	4.52 ± 0.24 5.11 - 4.16
LOUN	2.29 ± 0.14 2.07 - 2.5	2.49 ± 0.27 2.82 - 2.14	2.29 ± 0.11 2.48 - 2.07	2.49 ± 0.19 2.84 - 2
LOPM	1.50 ± 0.04 1.44 - 1.55	1.49 ± 0.07 1.57 - 1.38	1.45 ± 0.08 1.61 - 1.29	1.45 ± 0.07 1.58 - 1.28
LMS1	1.37 ± 0.07 1.29 - 1.48	1.41 ± 0.06 1.49 - 1.35	1.31 ± 0.07 1.44 - 1.14	1.36 ± 0.08 1.53 - 1.24
LMS2	1.22 ± 0.06 1.15 - 1.31	1.24 ± 0.10 1.4 - 1.15	1.13 ± 0.08 1.25 - 0.97	1.22 ± 0.06 1.32 - 1.12
LMS3	0.69 ± 0.05 0.62 - 0.78	0.74 ± 0.12 0.89 - 0.57	0.65 ± 0.06 0.77 - 0.53	0.74 ± 0.06 0.92 - 0.66
LOMA	5.21 ± 0.18 4.84 - 5.41	5.57 ± 0.36 6.2 - 5.28	5.15 ± 0.20 5.59 - 4.78	5.60 ± 0.37 6.25 - 4.92
ALPC	3.87 ± 0.19 3.64 - 4.18	4.14 ± 0.11 4.35 - 4.05	3.79 ± 0.21 4.12 - 3.36	4.02 ± 0.17 4.3 - 3.65
ALVC	2.03 ± 0.17 1.81 - 2.32	2.08 ± 0.07 2.17 - 1.98	1.99 ± 0.12 2.23 - 1.76	2.00 ± 0.12 2.2 - 1.75
LOCA	3.73 ± 0.17 3.54 - 3.96	3.91 ± 0.33 4.2 - 3.2	3.78 ± 0.22 4.17 - 3.3	3.92 ± 0.20 4.33 - 3.54
ALCA	2.75 ± 0.18 2.51 - 3.02	2.97 ± 0.11 3.1 - 2.81	2.72 ± 0.17 3.04 - 2.36	2.74 ± 0.12 2.97 - 2.56

LMAN	5.05 ± 0.21 4.72 - 5.34	5.42 ± 0.26 5.84 - 5.17	4.94 ± 0.26 5.31 - 4.48	5.30 ± 0.27 5.87 - 4.88
LOMM	3.64 ± 0.13 3.47 - 3.82	3.89 ± 0.20 4.16 - 3.71	3.55 ± 0.19 3.92 - 3.24	3.77 ± 0.21 4.23 - 3.47
LOM1	1.37 ± 0.06 1.3 - 1.47	1.47 ± 0.09 1.6 - 1.39	1.29 ± 0.06 1.39 - 1.15	1.38 ± 0.07 1.51 - 1.26
LOM2	1.24 ± 0.03 1.19 - 1.29	1.27 ± 0.06 1.37 - 1.19	1.18 ± 0.07 1.28 - 1.01	1.25 ± 0.07 1.4 - 1.14
LOM3	1.03 ± 0.07 0.9 - 1.1	1.08 ± 0.10 1.22 - 0.98	1.02 ± 0.05 1.12 - 0.89	1.06 ± 0.07 1.22 - 0.94
LOC1	0.97 ± 0.06 0.9 - 1.08	0.98 ± 0.09 1.13 - 0.84	0.95 ± 0.08 1.09 - 0.8	0.94 ± 0.12 1.05 - 0.3
LOPR	0.99 ± 0.08 0.89 - 1.1	1.02 ± 0.15 1.22 - 0.86	0.98 ± 0.09 1.16 - 0.78	0.95 ± 0.06 1.1 - 0.84
LOIN	3.30 ± 0.19 3.03 - 3.58	3.36 ± 0.20 3.71 - 3.13	3.33 ± 0.23 3.83 - 2.94	3.26 ± 0.22 3.64 - 2.72
LCAR	2.20 ± 0.11 2 - 2.31	2.22 ± 0.08 2.32 - 2.11	2.15 ± 0.19 2.43 - 1.87	2.10 ± 0.10 2.42 - 1.92
UÑA D	1.74 ± 0.18 1.47 - 1.95	1.62 ± 0.12 1.76 - 1.39	1.64 ± 0.17 1.93 - 1.17	1.54 ± 0.17 1.83 - 0.95

Cuadro 4. Medidas corporales, craneales y de extremidad anterior (en mm) de ejemplares de tres especie de musarañas del género *Sorex*, de diferentes localidades. Datos: promedio \pm la desviación estándar y los valores mínimo y máximo. Número de ejemplares entre paréntesis. Abreviaturas de las variables se describen en la sección de materiales y métodos.

	<i>S. veraecrucis altoensis</i>		<i>S. veraecrucis veraecrucis</i>		<i>S. veraepacis mutabilis</i>	<i>Morfotipo 1</i>	<i>Morfotipo 2</i>	<i>Morfotipo 3</i>
	Localidad Izta-Popo (n=5)	Localidad Sta. Inés del Monte (n=3)	Localidad Cerro San Felipe (n=4)	Localidad La Esperanza (n=3)	Localidad Cerro San Felipe (n=5)	Localidad Cerro Zempoaltepetl (n=5)	Localidad Peña Blanca (n=14)	Localidad Totontepec (n=6)
LT	96.20 \pm 11.52 80 - 109	102.00 \pm 12.17 88 - 110	106.21 \pm 6.21 100 - 114.83	126.33 \pm 8.33 117 - 133	120.40 \pm 11.84 100 - 130	130.40 \pm 3.58 127 - 135	108.85 \pm 4.05 117 - 101	127.17 \pm 6.88 118 - 137
LC	35.08 \pm 3.29 31 - 39.41	40.00 \pm 1.73 39 - 42	43.13 \pm 3.75 40 - 47.5	53.33 \pm 8.08 44 - 58	50.80 \pm 4.32 45 - 56	54.60 \pm 3.78 51 - 59	43.13 \pm 2.38 46 - 38	55.17 \pm 5.42 47 - 61
LP	13.30 \pm 1.10 12 - 15	14.00 \pm 1.73 13 - 16	13.04 \pm 0.89 12 - 14.17	15.67 \pm 0.58 15 - 16	13.90 \pm 0.22 13.5 - 14	16.00 \pm 0.35 15.5 - 16.5	14.19 \pm 0.91 16 - 13	15.33 \pm 0.41 15 - 16
CC	61.12 \pm 8.59 49 - 72	62.00 \pm 11.53 49 - 71	63.08 \pm 5.50 55 - 67.33	73.00 \pm 2.00 71 - 75	69.60 \pm 8.53 55 - 77	75.80 \pm 2.39 73 - 79	65.72 \pm 3.93 71 - 60	72.00 \pm 2.83 69 - 77
LOCB	18.38 \pm 2.42 16.34 - 22.51	17.52 \pm 0.31 17.24 - 17.85	17.16 \pm 1.80 14.51 - 18.54	19.20 \pm 0.55 18.73 - 19.8	17.89 \pm 0.59 17.3 - 18.56	18.73 \pm 0.44 18.37 - 19.38	17.10 \pm 0.61 17.69 - 15.31	18.34 \pm 0.82 16.88 - 19.07
ANCC	8.47 \pm 0.49 7.88 - 9	8.72 \pm 0.07 8.65 - 8.78	8.52 \pm 0.41 8.03 - 9.01	9.67 \pm 0.28 9.46 - 9.98	9.06 \pm 0.28 8.7 - 9.41	9.38 \pm 0.29 8.94 - 9.67	8.73 \pm 0.22 9.1 - 8.45	9.48 \pm 0.20 9.18 - 9.74
ANCI	3.92 \pm 0.37 3.45 - 4.27	3.98 \pm 0.06 3.94 - 4.05	3.81 \pm 0.16 3.7 - 4.045	4.36 \pm 0.09 4.26 - 4.43	4.04 \pm 0.12 3.89 - 4.15	4.16 \pm 0.06 4.1 - 4.22	3.81 \pm 0.10 3.97 - 3.67	4.19 \pm 0.12 4.07 - 4.41
PRCR	5.22 \pm 0.17 4.98 - 5.39	5.44 \pm 0.07 5.4 - 5.52	5.22 \pm 0.53 4.58 - 5.87	5.78 \pm 0.26 5.48 - 5.97	5.75 \pm 0.39 5.12 - 6.15	5.91 \pm 0.12 5.78 - 6.03	5.48 \pm 0.19 5.72 - 5.13	6.08 \pm 0.18 5.76 - 6.22
APCI	1.37 \pm 0.15 1.21 - 1.54	1.34 \pm 0.14 1.23 - 1.49	1.39 \pm 0.01 1.37 - 1.4	1.30 \pm 0.11 1.23 - 1.42	1.10 \pm 0.06 1.03 - 1.15	1.08 \pm 0.05 1.03 - 1.16	1.16 \pm 0.12 1.38 - 1	1.07 \pm 0.10 0.89 - 1.19

AU1M	1.82 ± 0.14 1.61 - 1.97	1.89 ± 0.02 1.87 - 1.91	1.93 ± 0.05 1.87 - 1.97	1.80 ± 0.05 1.76 - 1.85	1.77 ± 0.07 1.69 - 1.84	1.81 ± 0.02 1.79 - 1.84	1.81 ± 0.07 1.99 - 1.74	1.88 ± 0.02 1.84 - 1.9
AU2M	2.00 ± 0.15 1.79 - 2.16	2.09 ± 0.02 2.07 - 2.11	2.07 ± 0.02 2.03 - 2.09	1.99 ± 0.07 1.92 - 2.05	1.89 ± 0.10 1.77 - 2	1.99 ± 0.03 1.95 - 2.02	1.97 ± 0.06 2.13 - 1.9	2.04 ± 0.04 2.00 - 2.11
AU3M	2.09 ± 0.14 1.93 - 2.22	2.18 ± 0.05 2.13 - 2.23	2.14 ± 0.03 2.1 - 2.18	2.14 ± 0.06 2.08 - 2.19	2.00 ± 0.10 1.88 - 2.1	2.09 ± 0.05 2.03 - 2.16	2.09 ± 0.04 2.17 - 2.04	2.16 ± 0.05 2.08 - 2.21
AU4M	2.35 ± 0.17 2.15 - 2.5	2.43 ± 0.04 2.39 - 2.47	2.39 ± 0.05 2.34 - 2.45	2.44 ± 0.04 2.4 - 2.47	2.26 ± 0.08 2.18 - 2.38	2.38 ± 0.06 2.32 - 2.47	2.30 ± 0.06 2.42 - 2.21	2.41 ± 0.05 2.36 - 2.48
AMAX	4.66 ± 0.23 4.35 - 4.91	4.73 ± 0.16 4.61 - 4.91	4.73 ± 0.08 4.66 - 4.82	4.78 ± 0.08 4.69 - 4.84	4.78 ± 0.12 4.67 - 4.93	4.92 ± 0.12 4.72 - 5.01	4.54 ± 0.07 4.72 - 4.48	4.91 ± 0.13 4.72 - 5.06
LOPA	7.36 ± 0.36 6.89 - 7.7	7.15 ± 0.11 7.03 - 7.25	7.37 ± 0.26 7.2 - 7.75	8.26 ± 0.22 8.02 - 8.46	7.52 ± 0.17 7.32 - 7.69	7.96 ± 0.10 7.81 - 8.07	7.12 ± 0.16 7.38 - 6.88	7.86 ± 0.19 7.62 - 8.09
LHMD	6.57 ± 0.26 6.18 - 6.85	6.41 ± 0.03 6.37 - 6.43	6.53 ± 0.05 6.47 - 6.59	7.30 ± 0.15 7.14 - 7.43	6.81 ± 0.11 6.68 - 6.92	7.19 ± 0.13 7 - 7.35	6.50 ± 0.14 6.66 - 6.22	7.17 ± 0.22 6.92 - 7.57
LOMO	4.44 ± 0.25 4.1 - 4.63	4.39 ± 0.13 4.26 - 4.51	4.49 ± 0.05 4.43 - 4.54	4.83 ± 0.04 4.79 - 4.86	4.59 ± 0.05 4.54 - 4.66	4.76 ± 0.04 4.7 - 4.81	4.28 ± 0.08 4.46 - 4.16	4.79 ± 0.18 4.61 - 5.11
LOUN	2.37 ± 0.09 2.29 - 2.5	2.16 ± 0.10 2.07 - 2.26	2.29 ± 0.15 2.14 - 2.48	2.76 ± 0.07 2.68 - 2.82	2.44 ± 0.10 2.32 - 2.59	2.70 ± 0.09 2.61 - 2.84	2.40 ± 0.17 2.54 - 2	2.64 ± 0.08 2.53 - 2.71
LOPM	1.51 ± 0.04 1.46 - 1.55	1.47 ± 0.03 1.44 - 1.49	1.45 ± 0.06 1.38 - 1.5	1.55 ± 0.02 1.53 - 1.57	1.48 ± 0.03 1.45 - 1.52	1.48 ± 0.03 1.45 - 1.52	1.38 ± 0.04 1.45 - 1.28	1.50 ± 0.05 1.44 - 1.58
LMS1	1.40 ± 0.08 1.29 - 1.48	1.33 ± 0.04 1.3 - 1.37	1.37 ± 0.03 1.35 - 1.41	1.47 ± 0.02 1.45 - 1.49	1.35 ± 0.04 1.29 - 1.39	1.40 ± 0.02 1.38 - 1.43	1.30 ± 0.04 1.37 - 1.24	1.46 ± 0.07 1.38 - 1.53
LMS2	1.22 ± 0.06 1.16 - 1.31	1.21 ± 0.07 1.15 - 1.28	1.17 ± 0.03 1.15 - 1.22	1.33 ± 0.07 1.27 - 1.4	1.24 ± 0.04 1.21 - 1.3	1.27 ± 0.05 1.2 - 1.32	1.16 ± 0.04 1.23 - 1.12	1.29 ± 0.03 1.24 - 1.31

LMS3	0.69 ± 0.06	0.68 ± 0.05	0.66 ± 0.09	0.85 ± 0.04	0.75 ± 0.01	0.79 ± 0.03	0.70 ± 0.04	0.80 ± 0.07
	0.63 - 0.78	0.62 - 0.72	0.57 - 0.74	0.82 - 0.89	0.73 - 0.76	0.76 - 0.84	0.77 - 0.66	0.73 - 0.92
LOMA	5.16 ± 0.20	5.30 ± 0.15	5.43 ± 0.20	5.90 ± 0.31	5.77 ± 0.08	5.99 ± 0.19	5.30 ± 0.26	5.81 ± 0.22
	4.84 - 5.32	5.13 - 5.41	5.28 - 5.72	5.59 - 6.2	5.68 - 5.88	5.73 - 6.22	5.68 - 4.92	5.53 - 6.02
ALPC	3.85 ± 0.19	3.91 ± 0.23	4.09 ± 0.07	4.21 ± 0.12	4.10 ± 0.17	4.15 ± 0.10	3.90 ± 0.13	4.10 ± 0.14
	3.64 - 4.04	3.77 - 4.18	4.05 - 4.2	4.14 - 4.35	3.86 - 4.3	4.06 - 4.3	4.12 - 3.65	3.88 - 4.29
ALVC	2.01 ± 0.14	2.05 ± 0.24	2.05 ± 0.07	2.12 ± 0.04	2.05 ± 0.10	2.06 ± 0.10	1.92 ± 0.09	2.09 ± 0.11
	1.81 - 2.13	1.84 - 2.32	1.98 - 2.14	2.09 - 2.17	1.87 - 2.12	1.97 - 2.19	2.05 - 1.75	1.9 - 2.2
LOCA	3.75 ± 0.18	3.69 ± 0.17	3.82 ± 0.41	4.03 ± 0.18	3.81 ± 0.18	4.16 ± 0.15	3.82 ± 0.12	4.01 ± 0.18
	3.55 - 3.96	3.54 - 3.87	3.2 - 4.09	3.85 - 4.2	3.54 - 4.02	3.95 - 4.33	4.03 - 3.62	3.75 - 4.19
ALCA	2.76 ± 0.16	2.74 ± 0.24	2.99 ± 0.13	2.94 ± 0.10	2.73 ± 0.09	2.85 ± 0.07	2.66 ± 0.11	2.80 ± 0.10
	2.51 - 2.91	2.58 - 3.02	2.81 - 3.1	2.83 - 3.03	2.57 - 2.81	2.76 - 2.92	2.97 - 2.56	2.61 - 2.91
LMAN	5.06 ± 0.28	5.05 ± 0.03	5.28 ± 0.09	5.68 ± 0.14	5.37 ± 0.06	5.62 ± 0.05	5.04 ± 0.08	5.59 ± 0.15
	4.72 - 5.34	5.03 - 5.08	5.2 - 5.41	5.6 - 5.84	5.3 - 5.45	5.55 - 5.7	5.16 - 4.88	5.45 - 5.87
LOM M	3.66 ± 0.17	3.61 ± 0.03	3.73 ± 0.03	4.10 ± 0.08	3.83 ± 0.04	3.98 ± 0.07	3.56 ± 0.07	4.01 ± 0.12
	3.47 - 3.82	3.58 - 3.64	3.71 - 3.78	4.01 - 4.16	3.78 - 3.88	3.93 - 4.09	3.68 - 3.47	3.9 - 4.23
LOM1	1.38 ± 0.07	1.35 ± 0.03	1.41 ± 0.04	1.56 ± 0.03	1.40 ± 0.05	1.46 ± 0.03	1.32 ± 0.04	1.46 ± 0.05
	1.3 - 1.47	1.32 - 1.37	1.39 - 1.46	1.54 - 1.6	1.36 - 1.49	1.43 - 1.49	1.39 - 1.26	1.39 - 1.51
LOM2	1.24 ± 0.04	1.22 ± 0.02	1.23 ± 0.03	1.33 ± 0.05	1.22 ± 0.02	1.31 ± 0.01	1.19 ± 0.02	1.33 ± 0.04
	1.19 - 1.29	1.2 - 1.24	1.19 - 1.25	1.28 - 1.37	1.2 - 1.25	1.3 - 1.33	1.22 - 1.14	1.27 - 1.37
LOM3	1.04 ± 0.06	1.00 ± 0.10	1.01 ± 0.03	1.19 ± 0.04	1.10 ± 0.03	1.12 ± 0.05	1.00 ± 0.03	1.15 ± 0.04
	0.95 - 1.1	0.9 - 1.09	0.98 - 1.05	1.15 - 1.22	1.06 - 1.13	1.05 - 1.16	1.05 - 0.94	1.12 - 1.22
LOC1	0.94 ± 0.03	1.01 ± 0.10	0.94 ± 0.08	1.03 ± 0.09	0.92 ± 0.03	0.82 ± 0.29	0.98 ± 0.06	0.93 ± 0.06
	0.9 - 0.96	0.9 - 1.08	0.84 - 1.02	0.96 - 1.13	0.88 - 0.96	0.3 - 0.97	1.05 - 0.88	0.86 - 1.03

LOPR	0.96 ± 0.08 0.89 - 1.1	1.05 ± 0.05 1 - 1.1	1.09 ± 0.17 0.87 - 1.22	0.94 ± 0.08 0.86 - 1.02	0.93 ± 0.03 0.88 - 0.97	0.94 ± 0.04 0.89 - 0.99	0.93 ± 0.07 1.08 - 0.84	0.97 ± 0.02 0.93 - 1
LOIN	3.41 ± 0.13 3.23 - 3.58	3.11 ± 0.07 3.03 - 3.15	3.38 ± 0.23 3.21 - 3.71	3.35 ± 0.19 3.13 - 3.46	3.11 ± 0.11 2.98 - 3.26	3.43 ± 0.12 3.33 - 3.63	3.17 ± 0.21 3.52 - 2.72	3.52 ± 0.10 3.4 - 3.64
LCAR	2.19 ± 0.14 2 - 2.31	2.20 ± 0.05 2.14 - 2.24	2.21 ± 0.06 2.17 - 2.29	2.20 ± 0.11 2.11 - 2.32	2.08 ± 0.05 2 - 2.13	2.14 ± 0.06 2.08 - 2.22	2.07 ± 0.09 2.22 - 1.92	2.12 ± 0.06 2.06 - 2.2
UÑAD	1.80 ± 0.10 1.65 - 1.91	1.64 ± 0.27 1.47 - 1.95	1.65 ± 0.08 1.56 - 1.76	1.55 ± 0.16 1.39 - 1.7	1.68 ± 0.05 1.63 - 1.76	1.70 ± 0.11 1.59 - 1.83	1.41 ± 0.16 1.59 - 0.95	1.59 ± 0.10 1.44 - 1.73

Ejemplares examinados

Cryptotis goldmani goldmani (n = 13, 36 caracteres). Guerrero: Montañas cerca de Chilpancingo (USNM 70243, 70245, 70247); Omiltemi (USNM 126895, 126897, 126947, 127500, 127506) Omiltemi, 3 mi NW (USNM 329427; AMNH 214151, 214153). *Cryptotis goldmani machetes* (n = 13, 36 caracteres). Oaxaca: Cerro Zempoaltepetl (USNM 68532, 68542, 68547), Cerro Zempoaltepetl 4.5 km N Santa María Yacochi, Mpio. Tahuitontepec, 2450 m (CNMA 33602); San José de Cieneguilla (CNMA 44621, 44622, 44623), Ozolotepec (USNM 71458, 71459, 71460), Montañas cerca de Ozolotepec (USNM 71454, 71456, 71457). *Cryptotis mexicanus* (n = 12, 36 caracteres). Oaxaca: Cerro Zempoaltepetl (USNM 68532, 68528, 68529, 68530, 68531, 68533, 68534, 68535, 68536, 68538, 68539, 68540, 68541, 68543, 68544, 68545, 68546, 68548, 68549), Los Reyes (USNM 68561, 69604, 69605, 69606, 69607, 69608, 69609, 69610, 69611, 69612, 69613, 69614, 69615), Totontepec (USNM 68550, 68551, 68552, 68553, 68554, 68556, 68557, 68558, 68559). *Cryptotis magnus* (n = 32, 36 caracteres). Oaxaca: Cerro Zempoaltepetl (USNM 68565); Ixtlán de Juárez (AMNH 182091); 11km SW La Esperanza, Santiago Comaltepec (CNMA 29437, 29438, 29439, 29441, 29442, 29443, 29444, 29445, 29446, 29447, 29448, 29449, 43063, 43062, 43057, 29450, 29451, 29452, 29453, 29454, 29455, 29456, 29457, 29458, 29459, 29460, 29461, 29462, 29463, 29464). *Cryptotis peregrinus* (n = 22, 36 caracteres). Oaxaca: 15 mi W de Oaxaca (USNM 68315, 68316, 68318, 68319, 68320, 68321, 68322, 68323, 68324, 68325, 68326, 68327, 68328, 68329, 68330, 68331, 68332, 68333, 68334, 68335, 68336, 68338). *Sorex ventralis* (n = 34, 37 caracteres). Puebla: 10 km W San Martín Texmelucan (CNMA 26528, 26529, 26530, 26531, 26532, 26533, 26534, 26535, 26536, 26537, 26538, 26539, 26540, 26541, 26542, 26543, 46145, 46830, 43056, 13502, 26514, 26515, 26516, 26517, 26518, 26519, 26520, 26521, 26522, 26523, 26524, 26525, 26526, 26527). *Sorex veraepacis mutabilis* (n = 34, 37 caracteres). Oaxaca: Los reyes (USNM 69598) Cerro Zempoaltepetl (USNM 68339, 68562, 68563, 68564, 68567), Cerro San Felipe, San Felipe del Agua (USNM 68344, 68348, 68349, 68350; AMNH 185020), Totontepec (USNM 68576, 68577, 68578, 68579, 68580, 68581), Peña Blanca, 17.25 km SE de Tlaxiaco (CNMA 45608, 45609, 45610, 45611, 45612, 45613, 45614, 45615, 45616, 45617, 45618, 45619, 45620, 45621, 45605, 45606, 45607). *Sorex veraecrucis altoensis* (*Sorex saussurei*) (n = 8, 37 caracteres) Oaxaca: Santa Inés del Monte (CNMA 47070,

47071, 44770), México: Parque Nacional Izta-Popo, Amecameca (CNMA 44769, 44777, 44776, 44779, 47069). *Sorex veraecrucis* (*Sorex saussurei veraecrucis*) (n = 7, 37 caracteres). Oaxaca: Cerro San Felipe (AMNH 207424, 207425, 213755, 167848), La Esperanza, Santiago Comaltepec (CNMA 29413, 29415, 29417).

Ejemplares colectados es Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca, catalogados en la CNMA.

Cryptotis mexicanus 9.3 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49317, 49318, 49319, 49320, 49321, 49322, 49323, 49324, 49325); 9.7 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49326, 49327, 49328, 49329, 49330, 49331, 49332, 49333, 49334, 49335, 49336, 49337, 49338); 10.7 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49339, 49340, 49341, 49342, 49343, 49344, 49345, 49346, 49347, 49348, 49349, 49350, 49351, 49352, 49353, 49354, 49355, 49356, 49357, 49358, 49359); 11.5 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49360, 49361, 49362, 49363, 49364, 49365, 49366, 49367, 49368, 49369); 11.8 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49370, 49371, 49372, 49373, 49374, 49375, 49376, 49377, 49378, 49379, 49380, 49381, 49382, 49383, 49384, 49385, 49386, 49387, 49388).

Cryptotis magnus 9.3 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49304, 49305, 49306, 49307); 9.7 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49308, 49309); 10.7 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49310, 49311, 49312); 11.5 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49313); 11.8 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49314, 49315, 49316).

Sorex ventralis 9.3 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49389); 9.7 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49390, 49391, 49392); 10.7 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49393, 49394).

Sorex veraepacis mutabilis 9.7 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49395, 49396, 49397); 10.7 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49398, 49399, 49400, 49401); 11.5 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49402, 49403); 11.8 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49404, 49405, 49406).

Microtus mexicanus mexicanus 9.2 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49407, 49408)

Peromyscus aztecus evides 9.2 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49409, 49410, 49411, 49412, 49413, 49414); 9.3 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49415, 49416); 9.7 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49417); 11.5 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49418).

Peromyscus difficilis amplus 9.2 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49419, 49420, 49421); 9.3 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49422, 49423, 49424); 9.7 km SW Santa Catarina

Ixtepej (49425); 11.8 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49426, 49427, 49428, 49429, 49430, 49431, 49432, 49433, 49434, 49435, 49436, 49437, 49438, 49439, 49440, 49441).

Reithrodontomys mexicanus mexicanus 9.2 km SW Santa Catarina Ixtepeji (49445)

MATRICES DE DISTANCIAS DE LOS ANÁLISIS DE ORDENACIÓN

Cuadro 5. Matriz de distancias de Manhattan entre los centroides del análisis discriminante entre especies de *Cryptotis*.

	<i>C. g. goldmani</i>	<i>C. g. machetes</i>	<i>C. magnus</i>	<i>C. mexicanus</i>	<i>C. peregrinus</i>
<i>C. g. goldmani</i>	0				
<i>C. g. machetes</i>	3.658348	0			
<i>C. magnus</i>	17.113272	20.77162	0		
<i>C. mexicanus</i>	7.43449	7.823031	18.019669	0	
<i>C. peregrinus</i>	5.322916	5.711457	15.908095	2.111575	0

Cuadro 6. Matriz de distancias de Manhattan entre los centroides del análisis discriminante entre localidades de *Cryptotis mexicanus*.

	Los Reyes	Totontepec	Cerro Zempoaltepetl
Los Reyes	0		
Totontepec	8.518622	0	
Cerro Zempoaltepetl	7.846669	8.408008	0

Cuadro 7. Matriz de distancias de Manhattan entre los centroides del análisis discriminante entre especies de *Sorex*.

	<i>S. v. altoensis</i>	<i>S. ventralis</i>	<i>S. v. mutabilis</i>	<i>S. v. veraecrucis</i>
<i>S. v. altoensis</i>	0			
<i>S. ventralis</i>	4.931554	0		
<i>S. v. mutabilis</i>	7.397761	5.469323	0	
<i>S. v. veraecrucis</i>	4.998232	9.929786	6.266558	0

Cuadro 8. Matriz de distancias de Manhattan entre los centroides del análisis discriminante entre localidades de *Sorex*.

	<i>S. v. altoensis</i> Izta-Popo	<i>S. v. veraecrucis</i> Santiago Comaltepec	<i>S. v. mutabilis</i> Peña Blanca	<i>S. v. mutabilis</i> Cerro San Felipe	<i>S. v. veraecrucis</i> Cerro SanFelipe	<i>S. v. altoensis</i> Santa Inés	<i>S. v. mutabilis</i> Totontepec	<i>S. v. mutabilis</i> Cerro Zempoaltepetl
<i>S. v. altoensis</i> IztaPopo	0							
<i>S. v. veraecrucis</i> Santiago Comaltepec	13.352717	0						
<i>S. v. mutabilis</i> Peña Blanca	13.131111	26.483828	0					
<i>S. v. mutabilis</i> Cerro San Felipe	20.244553	33.59727	16.940144	0				
<i>S. v. veraecrucis</i> Cerro SanFelipe	18.0639	31.416618	4.932789	19.164826	0			
<i>S. v. altoensis</i> Santa Inés	23.457721	36.810438	10.32661	16.302606	5.393821	0		
<i>S. v. mutabilis</i> Totontepec	18.945434	16.729303	18.351195	16.867968	20.575877	20.081135	0	
<i>S. v. mutabilis</i> Zempoaltepetl	26.049196	14.598497	25.454958	22.098793	27.67964	25.31196	7.103762	0

VALORES DE SIGNIFICANCIA DE LOS ANÁLISIS DE VARIANZA

Cuadro 9. Resultados del análisis de varianza multivariante MANOVA entre los grupos formados por los análisis discriminantes de las especies de *Cryptotis*. Se muestran los valores de F y p obtenidos de todos los ejes discriminantes.

	Eje discriminante	Valor de F	Valor de p
LDA de las 5 especies de <i>Cryptotis</i>	LD1	$F_{3,464} = 1461.8$	$p < 0.0001$
	LD2	$F_{3,464} = 138.9$	$p < 0.0001$
	LD3	$F_{3,464} = 63.877$	$p < 0.0001$
	LD4	$F_{3,464} = 23.961$	$p < 0.0001$
LDA de las localidades de <i>C. mexicanus</i>	LD1	$F_{2,78} = 155.52$	$p < 0.0001$
	LD2	$F_{2,78} = 93.804$	$p < 0.0001$

Cuadro 10. Resultados del análisis de varianza multivariante MANOVA entre los grupos formados por el LDA de especie de *Cryptotis*. Se muestran los valores de p obtenidos de las comparaciones entre grupos para los dos primeros ejes discriminantes.

LD1	$F_{3,464} = 1461.8$		$p < 0.0001$	
Grupo	<i>Cryptotis goldmani goldmani</i>	<i>Cryptotis goldmani machetes</i>	<i>Cryptotis magnus</i>	<i>Cryptotis mexicanus</i>
<i>Cryptotis goldmani machetes</i>	0.0015	-	-	-
<i>Cryptotis magnus</i>	< 0.0001	< 0.0001	-	-
<i>Cryptotis mexicanus</i>	< 0.0001	0.0737	< 0.0001	-
<i>Cryptotis peregrinus</i>	< 0.0001	1	< 0.0001	0.3171

LD2	$F_{3,464} = 138.9$		$p < 0.0001$	
Grupo	<i>Cryptotis goldmani goldmani</i>	<i>Cryptotis goldmani machetes</i>	<i>Cryptotis magnus</i>	<i>Cryptotis mexicanus</i>
<i>Cryptotis goldmani machetes</i>	< 0.0001	-	-	-
<i>Cryptotis magnus</i>	< 0.0001	< 0.0001	-	-
<i>Cryptotis mexicanus</i>	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	-
<i>Cryptotis peregrinus</i>	< 0.0001	< 0.0001	1	< 0.0001

Cuadro 11. Resultados del análisis de varianza multivariante entre los grupos formados por el LDA de localidades de *Cryptotis mexicanus*. Se muestran los valores de p obtenidos de las comparaciones entre grupos para los dos ejes discriminantes.

LD1	$F_{2,78} = 155.52$	$p < 0.0001$
Grupo	Los Reyes	Totontepec
Totontepec	< 0.0001	-
Zempoaltepetl	< 0.0001	< 0.0001
LD2	$F_{2,78} = 93.804$	$p < 0.0001$
Grupo	Los Reyes	Totontepec
Totontepec	< 0.0001	-
Zempoaltepetl	< 0.0001	0.003

Cuadro 12. Resultados del análisis de varianza multivariante MANOVA entre los grupos formados por los análisis discriminantes de las especies de *Sorex*. Se muestran los valores de F y p obtenidos de todos los ejes discriminantes.

	Eje discriminante	Valor de F	Valor de p
LDA de las cuatro especies de <i>Sorex</i>	LD1	$F_{2,246} = 138.91$	$p < 0.0001$
	LD2	$F_{2,246} = 89.115$	$p < 0.0001$
	LD3	$F_{2,246} = 27.85$	$p < 0.0001$
LDA de especies <i>Sorex</i> divididas por localidades	LD1	$F_{7,322} = 454.28$	$p < 0.0001$
	LD2	$F_{7,322} = 194.81$	$p < 0.0001$
	LD3	$F_{7,322} = 83.609$	$p < 0.0001$
	LD4	$F_{7,322} = 44.192$	$p < 0.0001$
	LD5	$F_{7,322} = 17.334$	$p < 0.0001$
	LD6	$F_{7,322} = 12.444$	$p < 0.0001$
	LD7	$F_{7,322} = 6.2431$	$p < 0.0001$

Cuadro 13. Resultados del análisis de varianza multivariante entre los grupos formados por el LDA de las especies de *Sorex*. Se muestran los valores de p obtenidos de las comparaciones entre grupos para los dos primeros ejes discriminantes.

LD1	$F_{2,246} = 138.91$		$p < 0.0001$
Grupo	<i>Sorex veraecrucis altoensis</i>	<i>Sorex ventralis</i>	<i>Sorex veraepacis mutabilis</i>
<i>Sorex ventralis</i>	0.0016	-	-
<i>Sorex veraepacis mutabilis</i>	< 0.0001	< 0.0001	-
<i>Sorex veraecrucis veraecrucis</i>	< 0.0001	< 0.0001	0.7635

LD2	$F_{2,246} = 89.115$		$p < 0.0001$
Grupo	<i>Sorex veraecrucis altoensis</i>	<i>Sorex ventralis</i>	<i>Sorex veraepacis mutabilis</i>
<i>Sorex ventralis</i>	< 0.0001	-	-
<i>Sorex veraepacis mutabilis</i>	< 0.0001	0.0022	-
<i>Sorex veraecrucis veraecrucis</i>	0.087	< 0.0001	< 0.0001

Cuadro 14. Resultados del análisis de varianza multivariante entre los grupos formados por el LDA de las localidades de *Sorex*. Se muestran los valores de *p* obtenidos de las comparaciones entre grupos para los dos primeros ejes discriminantes.

Eje discriminante uno		$F_{3,464} = 1461.8$				$P < 0.0001$	
Grupo	<i>S. v. altoensis</i> Izta-Popo	<i>S. v. veraecrucis</i> Santiago Comaltepec	<i>S. v. mutabilis</i> Peña Blanca	<i>S. v. mutabilis</i> San Felipe	<i>S. v. veraecrucis</i> SanFelipe	<i>S. v. altoensis</i> Santa Ines	<i>S. v. mutabilis</i> Totontepec
<i>S. v. veraecrucis</i> Santiago Comaltepec	< 0.0001	-	-	-	-	-	-
<i>S. v. mutabilis</i> Peña Blanca	< 0.0001	< 0.0001	-	-	-	-	-
<i>S. v. mutabilis</i> San Felipe	1	< 0.0001	< 0.0001	-	-	-	-
<i>S. v. veraecrucis</i> SanFelipe	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	-	-	-
<i>S. v. altoensis</i> Santa Inés	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	1	-	-
<i>S. v. mutabilis</i> Totontepec	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	-
<i>S. v. mutabilis</i> Zempoaltepetl	< 0.0001	1	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Eje discriminante dos		$F_{3,464} = 138.9$				$P < 0.0001$	
Grupo	<i>S. v. altoensis</i> Izta-Popo	<i>S. v. veraecrucis</i> Santiago comaltepec	<i>S. v. mutabilis</i> Peña Blanca	<i>S. v. mutabilis</i> San Felipe	<i>S. v. veraecrucis</i> SanFelipe	<i>S. v. altoensis</i> Santa Ines	<i>S. v. mutabilis</i> Totontepec
<i>S. v. veraecrucis</i> Santiago Comaltepec	1	-	-	-	-	-	-
<i>S. v. mutabilis</i>	< 0.0001	< 0.0001	-	-	-	-	-

Peña Blanca							
<i>S. v. mutabilis</i> San Felipe	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	-	-	-	-
<i>S. v.</i> <i>veraecrucis</i> SanFelipe	< 0.0001	< 0.0001	0.5649	< 0.0001	-	-	-
<i>S. v. altoensis</i> Santa Inés	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	-	-
<i>S. v. mutabilis</i> Totontepec	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0014	1	-
<i>S. v. mutabilis</i> Zempoaltepetl	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	1	1