



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE CIENCIAS**

**ANÁLISIS DE LA ULTRAESTRUCTURA DEL PELO DE *Ototylomys  
phyllotis* Merriam 1901 (RODENTIA, MURIDAE) Y TRES DE SUS  
ESPECIES HERMANAS**

**TESINA  
QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE LA ESPECIALIZACIÓN EN**

**MICROSCOPIA ELECTRÓNICA APLICADA  
A LAS CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**P R E S E N T A:**

**Cirene Gutiérrez Blando**

**DIRECTORA DE TESIS:**

**M. en C. María Berenit Mendoza Garfias**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## **DEDICATORIA**

**A ti má, por estar siempre en cada paso que doy. Gracias siempre por todo lo que me enseñaste y continúas enseñándome. Te llevo siempre en mi corazón y mi mente.**

**A ti pá, por estar, por tus enseñanzas. Que vengan muchos años más compartiendo. Te llevo siempre en mi corazón y mi mente.**

**A ti Luis, por ser quien eres para mí. Porque contigo siempre tengo momentos de risas. Que todos los años que nos faltan por estar en este planeta, los vivamos compartiendo, aprendiendo y disfrutando juntos. Te amo.**

**A mis hermanas, Cati y Lilia. Saben que las quiero muchísimo. Gracias por estar para mí y conmigo en todos los momentos. Gracias por su apoyo siempre. Saben que de igual forma estoy para ustedes. A toda mi familia, a quienes ya no están físicamente, pero si en mi corazón. Y a quienes tengo el privilegio de poder seguir abrazando.**

**A mi familia por elección, de quienes siempre he aprendido, he tenido apoyo incondicional, un oído que me escuche, palabras que sanan el corazón, experiencias entrañables. Gracias siempre por su invaluable amistad. Gracias Ale, Esperanza, Leti, Viri, Bere, Rebe, Alice. Las quiero muchísimo.**

**A la Señora Ángeles Morales. Gracias por recibirme siempre con los brazos abiertos de forma muy cálida. Por hacerme sentir siempre parte de la hermosa familia que ha formado. Por sus enseñanzas, por todo, siempre.**

**A Regina Elías, porque eres parte de este logro. Gracias por tu claridad, profesionalismo y calidez. Gracias por guiarme en momentos muy oscuros. Gracias por todo siempre.**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A la Universidad Nacional Autónoma de México, por permitir y facilitar que continúe mi formación académica y humana.**

**A Berenit Mendoza Garfias por las facilidades y apoyo para desarrollar mi proyecto en el Laboratorio de Microscopía Electrónica (LaNaBio) del Instituto de Biología de la UNAM. Personalmente, gracias por aceptar dirigir este trabajo. Particularmente, por tu apoyo, confianza y enseñanzas siempre. Gracias Bere.**

**A la Dra. Livia León Paniagua por las facilidades para tener acceso a la Colección Mastozoológica de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Y personalmente, por apoyarme tanto académica como personalmente en todo momento. Gracias Livia.**

**Al Dr. Fernando Cervantes por las facilidades para tener acceso a la Colección Nacional de Mamíferos del Instituto de Biología de la UNAM.**

**A todo el cuerpo docente de la Especialidad en Microscopía Electrónica aplicada a las Ciencias Biológicas: Dr. Gerardo Vázquez Nin, Dra. Olga Margarita Echeverría Martínez, Dr. Luis Felipe Jiménez García, Dra. Teresa Imelda Fortoul van der Goes, Dr. Armando Zepeda Rodríguez, M. en C. Silvia Juárez Chavero, Dra. Nayeli Torres Ramírez, Dra. Reyna Lara Martínez, Dra. Guadalupe Trinidad Zavala Padilla, Dra. Elizabeth Soria Castro, Dra. María de Lourdes Segura Valdez. A todas y todos, gracias por sus enseñanzas y compromiso con nuestra formación académica.**

**A Ana, Nelly y Flor por todo su apoyo personal y académico durante nuestros estudios de la Especialidad.**

## RESUMEN

En este trabajo se analizaron las características cualitativas y cuantitativas del pelo de guardia dorsal de *Ototylomys phyllotis*, *Tylomys nudicaudus*, *Nyctomys sumichrasti* y *Otonyctomys hatti*. Estos roedores son especies hermanas que se distribuyen en México y Centroamérica. Las cuatro especies son arborícolas y presentan un color de pelaje característico.

Las características cuantitativas evaluadas fueron el ancho total del pelo y el ancho de la médula, ambas medidas tomadas en la zona media del pelo de guardia. *N. sumichrasti* fue la especie que tuvo los valores más altos y *O. hatti* los más bajos.

Cualitativamente, los ejemplares de *O. phyllotis* muestra un patrón medular escalonado uniserial. Mientras que los de *Tylomys nudicaudus*, *Nyctomys sumichrasti* y *Otonyctomys hatti* tienen un patrón medular escalonado multiserial.

En cuanto a la cutícula, *O. phyllotis* presenta un patrón de escamas hastadas simétricas. Y sus tres especies hermanas, analizadas aquí, un patrón de escamas crenadas irregulares.

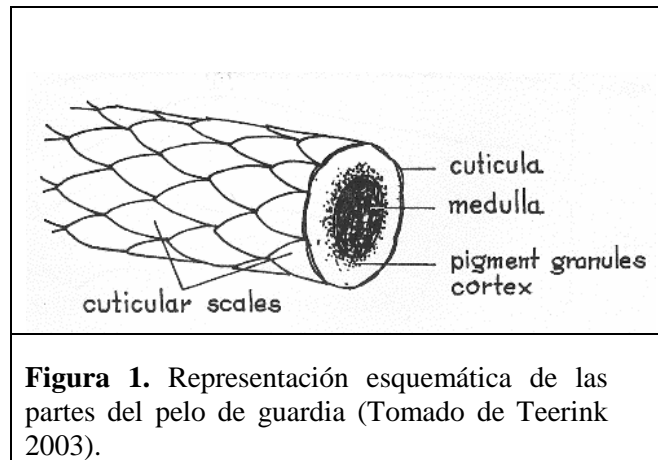
Este trabajo destaca la utilidad de la microscopía electrónica de barrido en el campo de la tricología, ya que permite el análisis ultraestructural de caracteres con valor taxonómico. La información generada de este contexto puede ser aplicable en diversas áreas de la mastozoología como son la Sistemática, Ecología y Conservación.

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>4</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>8</b>
<b>MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>9</b>
<b>Obtención de las muestras</b>	
<b>Procesamiento de las muestras para su observación en el microscopio     fotónico y microscopio electrónico de barrido</b>	
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>12</b>
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>35</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>44</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>45</b>
<b>APÉNDICE I.....</b>	<b>50</b>

## INTRODUCCIÓN

Una de las características más distintivas de los mamíferos es el pelo, que es un derivado epidérmico exclusivo de los mamíferos (Arita y Aranda 1987). Hay tres tipos de pelo: las vibrisas (pelos táctiles), pelos de guardia (protección) y los pelos de bajo piel (o de lana). Cada pelo tiene tallo (ó cañón) y raíz (ó base). El tallo está formado por la cutícula, la corteza y la médula (Figura 1). La cutícula es la capa más externa constituida por células muertas y transparentes sin pigmentación llamadas escamas cuticulares. La corteza es la capa intermedia y está compuesta por células fusiformes, aplanadas y alargadas muy compactadas que almacenan los pigmentos. Finalmente, la médula es la capa interior y está compuesta por células cuboidales débilmente compactadas que muchas veces presentan cavidades de aire (Pech-Canché *et al.* 2009).



El pelo es un material resistente, de fácil muestreo y con una microestructura particular, lo cual despertó gran interés en los primeros microscopistas como Robert Hooke, quien publicó sus hallazgos respecto a su análisis del pelo en la revista *Micrographia* en 1665 (Arita y Aranda 1987). También, Anton von Leeuwenhoek reportó la presencia de la médula en fibras de lana. Durante los siglos XVIII y XIX también hubo trabajos referentes al análisis del pelo. Sin embargo, a inicios

del siglo XX es cuando se publican los primeros trabajos centrados en el estudio de la estructura, variación e identificación de los pelos. Por ejemplo, Danforth 1925 es de los primeros en analizar el pelo desde un enfoque filogenético.

Por otro lado, los trabajos del microscopista Leon Augustus Hausman son una invaluable aportación en el estudio del pelo. Hausman (1920a), en su primer trabajo publica un estudio sobre el pelo de los monotremas y una nota sobre la identificación de los pelos utilizados en la industria textil (Hausman 1920b). En un tercer trabajo, Hausman (1920c) publica dibujos de la médula y la cutícula del pelo de cerca de 170 especies de mamíferos incluido el mamut, aquí discute las relaciones entre las diferentes partes del pelo y la posibilidad de utilizarlas en la clasificación e identificación de éste. Además, el autor muestra a detalle las técnicas histológicas y microscópicas utilizadas en sus estudios (Arita y Aranda 1987). Hausman (1924) publica también las clasificaciones de médulas y escamas junto con un análisis de correlación entre la microestructura del pelo y otros criterios taxonómicos. Los aportes de Hausman sentaron las bases de los estudios donde se destaca la utilidad del pelo tanto en la identificación como en la taxonomía de los mamíferos (Arita y Aranda 1987).

Hoy en día, las características del pelo continúan siendo de gran importancia taxonómica en la identificación de especies, sobre todo, cuando no se tiene otro tipo de referencias (Pech-Canché *et al.* 2009). Los análisis microscópicos del pelo han permitido evidenciar diferencias en esta estructura, las cuales han sido organizadas y dadas a conocer mediante guías o claves de identificación, catálogos y atlas (Monroy-Vilchis y Rubio-Rodríguez 2003; Teerink 2003; Baca y Sánchez-Cordero 2004; Pech-Canché *et al.* 2009; Debelica y Thies 2009; Juárez *et al.* 2010).

Para México existen pocos estudios de este tipo, los cuales se realizaron para regiones particulares del país y, por tanto, para determinadas especies con distribución en México (Monroy-Vilchis y Rubio-Rodríguez 2003; Baca y Sánchez-Cordero 2004; Pech-Canché *et al.* 2009).



En el caso de *Ototylomys phyllotis* sólo se ha analizado el ancho y la médula del pelo (Pech-Canché *et al.* 2009). Para *Nyctomys sumichrasti* y *Tylomys nudicaudus* se ha analizado la médula y la cutícula (Baca y Sánchez-Cordero 2004). En cuanto a *Otonyctomys hatti* no hay trabajos previos que hayan analizado su pelo.

Por ello, el objetivo de este trabajo es analizar la estructura del pelo de *O. phyllotis* y tres de sus especies hermanas: *O. hatti*, *N. sumichrasti* y *T. nudicaudus*. Esto para contar con un elemento no sólo descriptivo sino también comparativo. Y a partir de este análisis, determinar si la estructura de la médula, así como el patrón cuticular presentan características taxonómicas que diferencien a estas especies.

## ANTECEDENTES

En México, el orden de mamíferos con mayor representación es el Orden Rodentia. Dentro de este orden se encuentra el género *Ototylomys* que hasta hace poco era considerado monotípico, representado únicamente por *O. phyllotis* (Lawlor 1969 y 1982). Sin embargo, a partir del análisis morfológico y molecular se logró reconocer una nueva especie, *Ototylomys chiapensis*, distribuida en la región de “La Pera” en los Altos de Chiapas (Porter *et al.* 2017).

*Ototylomys phyllotis* resulta interesante ya que además de ser endémica a Mesoamérica, esta rata arborícola presenta una diferenciación morfológica a lo largo de su distribución geográfica comprendida desde la Península de Yucatán, Tabasco y Chiapas hasta el centro de Costa Rica. El Istmo de Tehuantepec marca el límite norte de su distribución y podría representar una barrera para su movimiento hacia el noroeste (Lawlor, 1969, 1982; Hall, 1981). El hallazgo de fósiles de especímenes del género *Ototylomys* en las grutas de Loltún, Yucatán cuya datación geológica se aproxima a los 30, 000 años (Álvarez y Polaco, 1983; Arroyo-Cabrales y Álvarez, 2003), hace posible contar con un componente cronológico complementario al componente geográfico actual que está conformado por tres subespecies: *O. p. australis* (norte de Costa Rica), *O. p. connectens* (Tabasco, Chiapas y las tierras altas del centro de Guatemala) y *O. p. phyllotis* (Península de Yucatán, tierras altas del este y sur de Guatemala, Honduras, El Salvador y Nicaragua).

Primeramente, *O. phyllotis* presenta una marcada variación geográfica en cuanto al tamaño, los individuos de la Península de Yucatán son más pequeños que los de Tabasco y Chiapas, por lo que el tamaño del cuerpo en esta especie parece incrementar con la altitud. El color del pelaje dorsal y del vientre también varía geográficamente: dorso café en Yucatán y café-grisáceo o negruzco en Chiapas y América Central; vientre oscuro en individuos de tierras altas y vientres blancos en los de tierras bajas. Con excepción de los individuos de tierras altas de talla grande que habitan

Nicaragua y Costa Rica que presentan vientres blancos (Lawlor, 1969, 1982). Las diferencias en las dimensiones craneales y el color del pelaje entre poblaciones de tierras altas y bajas de *O. phyllotis* casi siempre son muy marcadas (Lawlor, 1969, 1982). En cuanto a la forma del cráneo también fue posible encontrar diferencias con base en un análisis de morfometría geométrica (Gutiérrez-Blando *et al.*, en preparación).

Los posibles factores responsables de esta variación a lo largo de su distribución no son claros ya que *Ototylomys phyllotis* habita una amplia variedad de hábitats dentro de su rango de distribución con diversos climas extremos, desde bosques tropicales perennifolios hasta zonas altas frías de Chiapas y Guatemala (Lawlor, 1969), condiciones que podrían estar propiciando varianza ecofenotípica en la especie, en respuesta a estímulos ambientales como el tipo de alimento disponible o las condiciones locales del hábitat (Gutiérrez-Blando *et al.*, en preparación).

A partir del análisis de la estructura genética de *O. phyllotis* en un contexto biogeográfico (Gutiérrez-García y Vázquez-Domínguez 2012), se propuso que el ancestro de las poblaciones de esta especie tuvo lugar en las cercanías de Honduras y El Salvador y desde esta área, la especie inicialmente colonizó las zonas montañosas de Guatemala y Chiapas. Migraciones posteriores se dieron desde Honduras hacia Belice y la Península de Yucatán y hacia Nicaragua y Costa Rica (Gutiérrez-García y Vázquez-Domínguez 2012). Se estima que la divergencia y dispersión inicial de las poblaciones de *O. phyllotis* ocurrió en el Mioceno (14.5-7.4 Ma), y la colonización y divergencia de las poblaciones de Yucatán y Belice en el Plioceno temprano (5 Ma aproximadamente; Gutiérrez-García *et al.* 2014, 2015).

En cuanto a las relaciones filogenéticas del género *Ototylomys*, mediante estudios moleculares (Bradley *et al.* 2004; Reeder y Bradley 2004; Corley *et al.* 2011), se ha determinado que está cercanamente relacionado con el género *Tylomys*, con el cual comparte caracteres como el cráneo aplanado con crestas supraorbitales bien marcadas (Lawlor 1969; Hall 1981). Ambos géneros

forman la Tribu Tylomyini que junto con la Tribu Nyctomyini (conformada por las ratas de los géneros *Nyctomys* y *Otonyctomys*), pertenecen a la subfamilia Tylomyinae de cricétidos (Musser y Carleton 2005; Ramírez-Pulido *et al.* 2014), que surgió a partir de un linaje de origen Norteamericano.

*Tylomys nudicaudus* es una de las ratas más grandes de México. Su pelaje es largo y suave. En los adultos el dorso es de color rojo canela y el vientre es blanco amarillento. La cola es casi tan larga como el cuerpo, bicolor con los dos tercios en la base de color oscuro y el tercio restante de color blanco amarillento. Tiene orejas grandes y redondas de color oscuro (Ceballos y Oliva 2005). En México habita por la vertiente del Golfo, desde Puebla y Veracruz; por la vertiente del Pacífico desde Guerrero, hasta Oaxaca y Chiapas. En casi todo Centroamérica, ocupando gran parte de Belice y Guatemala hasta Costa Rica (Ceballos y Oliva 2005).

Por otra parte, *Nyctomys sumichrasti* es una rata pequeña, de color café canela o café anaranjado en el dorso. El género es monotípico. Esta rata tiene vientre blanco o crema. Alrededor de los ojos presenta una banda de pelos café oscuro. Su cola es parda y termina en un mechón, su longitud es casi del tamaño del cuerpo. Tiene hábitos estrictamente nocturnos, son arborícolas con patas traseras modificadas para esa forma de vida (Ceballos y Oliva 2005). Sus garras están comprimidas y curvas como una adaptación a su estilo de vida arbóreo (Hunt *et al.* 2004).

Se distribuye del sur de Jalisco y Veracruz hacia el sur llegando al centro de Panamá, con excepción de la Península de Yucatán (Hunt *et al.* 2004).

*Otonyctomys hatti* es un ratón pequeño cuyos caracteres externos son muy parecidos a los de *Nyctomys sumichrasti*, pero su pelaje es castaño rojizo más brillante; ventralmente es blanco con algunos pelos color crema (Ceballos y Oliva 2005). Mientras que el carácter más conspicuo que separa a estas dos especies es el tamaño de las bulas timpánicas, en *O. hatti* son tres veces más grandes que en *N. sumichrasti* (MacSwiney *et al.* 2009). Presenta dos anillos oculares de color

oscuro muy conspicuos; orejas cortas con el ápice ligeramente redondeado. Su cola es mediana y gruesa de color café oscuro y con un mechón de pelos que sobresale en la punta (Ceballos y Oliva 2005).

Se distribuye en la Península de Yucatán, noreste de Guatemala y centro-norte de Belice. Hasta ahora, *O.hatti* ha sido registrada sólo en diez localidades (MacSwiney *et al.* 2009).

Si bien la especie *Ototylomys phyllotis* ha sido analizada desde los enfoques morfológico, genético y filogenético, en cuanto al análisis de su pelo, sólo se ha analizado la médula (Pech-Canché *et al.* 2009). En cuanto a *Tylomys nudicaudus* y *Nyctomys sumichrasti*, se ha analizado solamente la médula y la cutícula (Baca y Sánchez-Cordero 2004), y respecto a *Otonyctomys hatti*, este es el primer trabajo que analiza su pelo desde este punto de vista. Aun cuando el análisis del pelo mediante microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido ha permitido conocer características particulares de esta estructura diagnóstica de los mamíferos. Muestra de ello es la creciente aportación de claves de identificación taxonómica con base en las características estructurales (Monroy-Vilchis y Rubio-Rodríguez 2003; Pech-Canché *et al.* 2009) y ultraestructurales del pelo (Baca y Sánchez-Cordero 2004; Debelica y Thies 2009).

## OBJETIVOS

- \* Analizar y describir la médula y cutícula del pelo de guardia dorsal de *Otodylomys phyllotis* y tres de sus especies hermanas: *Nyctomys sumichrasti*, *Otonyctomys hatti* y *Tylomys nudicaudus*, mediante microscopía fotónica y microscopía electrónica de barrido.
- \* Determinar si hay diferencias entre estas cuatro especies de acuerdo a los patrones estructurales de la médula y la cutícula.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### **\*Obtención de las Muestras:**

- a) Las muestras de pelo de guardia dorsal se obtuvieron de ejemplares adultos resguardados en las Colecciones Nacional de Mamíferos del Instituto de Biología (IB) y de la Facultad de Ciencias (MZFC), ambas de la UNAM.
- b) Las muestras de pelo se tomaron manualmente de la región dorsal media de cada ejemplar. Esto se hizo utilizando guantes para asegurar la extracción completa de los pelos y evitar dañar las pieles de los ejemplares con el uso de pinzas.

### **\*Procesamiento de las muestras para su observación en el microscopio fotónico y microscopio electrónico de barrido:**

#### **a) Lavado**

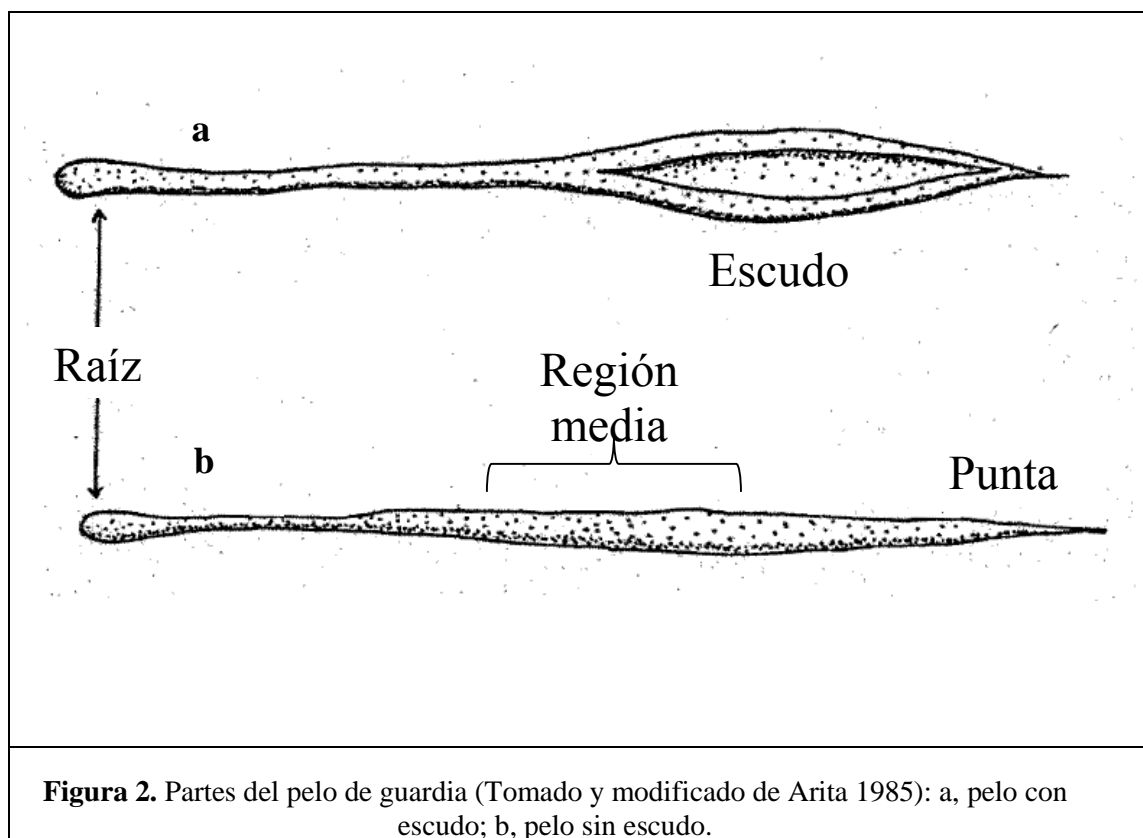
El tratamiento de las muestras del pelo de guardia consistió en su lavado con jabón biológico, por media hora, para eliminar grasa y partículas extrañas. Después el jabón biológico fue sustituido por agua destilada y las muestras se colocaron en el sonicador por 20 minutos. Posteriormente se realizó un segundo cambio de agua destilada para lavar y eliminar partículas de las muestras. Finalmente, las muestras fueron puestas dentro de sobres de papel arroz a temperatura ambiente para su secado completo.

#### **b) Montaje para el análisis de la médula:**

Se realizaron preparaciones permanentes de dos muestras de pelo por ejemplar. Una vez que los pelos estuvieron limpios y secos, se colocaron en xilol por 48 horas para su aclaramiento.

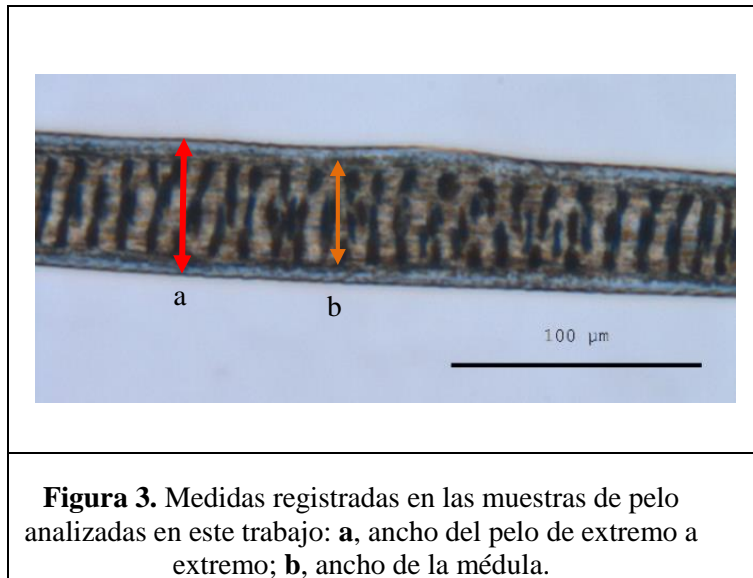
Después, cada muestra fue colocada sobre una gota de Bálsamo de Canadá puesta en un portaobjetos y después se colocó el cubreobjetos (Arita y Aranda 1987). Las preparaciones ya montadas y rotuladas fueron puestas dentro de una estufa de secado por 24 horas. Finalmente fueron examinadas en el microscopio óptico Olympus IX 81, en el cual se tomaron fotos a lo largo de cada muestra de pelo para su posterior análisis. Sin embargo, en la región media de cada muestra, fue en la que se realizó el análisis del patrón medular (Figura 2). Para describir los patrones de la médula se siguió la nomenclatura propuesta por Arita y Aranda (1987).

En cuanto a características cuantitativas del pelo, se tomaron medidas del ancho del pelo y del ancho de la médula (Figura 3). Ambas mediciones también se realizaron en la región media de cada una de las muestras analizadas (Figura 2).



**Figura 2.** Partes del pelo de guardia (Tomado y modificado de Arita 1985): a, pelo con escudo; b, pelo sin escudo.





### c) Montaje para el análisis de la cutícula:

El análisis de la capa cuticular se realizó con ayuda del microscopio electrónico de barrido Hitachi SU1510 y se analizaron dos muestras de pelo por ejemplar. Para ello, cada muestra limpia y seca fue montada en portaobjetos de aluminio sobre una cinta adhesiva de carbón y posteriormente fueron cubiertas con ayuda de un metalizador (Quorum Q15OR), con una capa de 20mA de oro durante 2 minutos (dos ciclos). Finalmente, las muestras se examinaron a 10kV en el microscopio electrónico de barrido, centrándose el análisis de la cutícula en la región media de cada muestra. De igual forma, para describir los patrones de la cutícula se siguió la nomenclatura propuesta por Arita y Aranda (1987).

## RESULTADOS

La muestra total analizada para las cuatro especies de ratas arborícolas estuvo compuesta por 35 ejemplares adultos de los cuales 19 son hembras y 16 machos (Tabla 1). De los 35 ejemplares, 18 fueron revisados en la Colección de mamíferos de la Facultad de Ciencias y 17 en la Colección Nacional de mamíferos del Instituto de Biología, ambas de la UNAM (Apéndice 1).

**Tabla 1. Número de ejemplares analizados para las cuatro especies incluidas en este trabajo.**

<b>Especie</b>	<b>No. de hembras</b>	<b>No. de machos</b>
<i>Ototylomys phyllotis</i>	15	9
<i>Tylomys nudicaudus</i>	1	3
<i>Nyctomys sumichrasti</i>	2	4
<i>Otonyctomys hatti</i>	1	-
<b>TOTAL</b>	<b>19</b>	<b>16</b>

El ancho del pelo de los ejemplares fue medido en dos formas: Ancho total (de extremo a extremo) y el ancho propiamente de la médula (Tabla 2; Figura 3).

**Tabla 2. Medidas analizadas de la médula del pelo de guardia de los ejemplares analizados.**

	<b>Ancho (extremo a extremo)</b>	<b>Ancho de la médula</b>
<i>Ototylomys phyllotis</i>	19.58 $\mu\text{m}$ (10.38 / 35.44 )	14.15 $\mu\text{m}$ (7.22 / 26.30)
<i>Tylomys nudicaudus</i>	34.57 $\mu\text{m}$ (21.99 / 48.24 )	27.59 $\mu\text{m}$ (13.24 / 38.39)
<i>Nyctomys sumichrasti</i>	44.46 $\mu\text{m}$ (32.38 / 51.63 )	39.17 $\mu\text{m}$ (28.01 / 47.26)
<i>Otonyctomys hatti</i>	17.00 $\mu\text{m}$	11.45 $\mu\text{m}$

### **Análisis de la médula**

De acuerdo con la nomenclatura propuesta por Arita y Aranda (1987), en la muestra analizada de *Ototylomys phyllotis* se observó que el patrón medular, en estos ejemplares, corresponde a un patrón medular escalonado uniserial (Figs. 4-13). De igual forma, a partir de la muestra analizada de *T. nudicaudus* (Figs. 14-17), *Nyctomys sumichrasti* (Figs. 18-23) y *Otonyctomys hatti* (Figs. 24-25) se observó que, para los ejemplares de estas tres especies, el patrón medular corresponde a un patrón medular escalonado multiserial.

*Ototylomys phyllotis*

Figura 4. Médula del ejemplar IB 12393 (Chiapas)

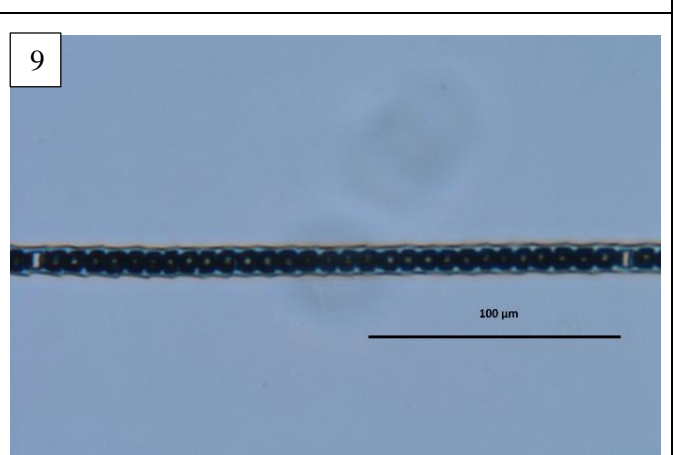
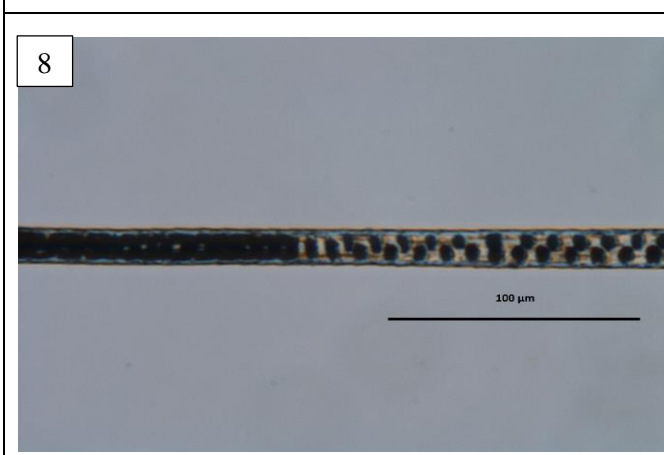
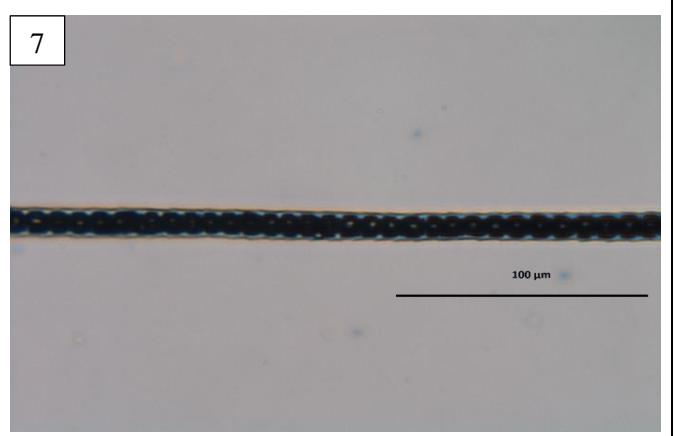
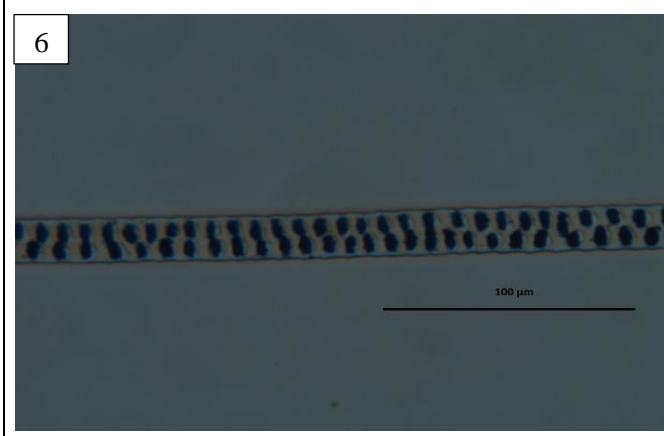
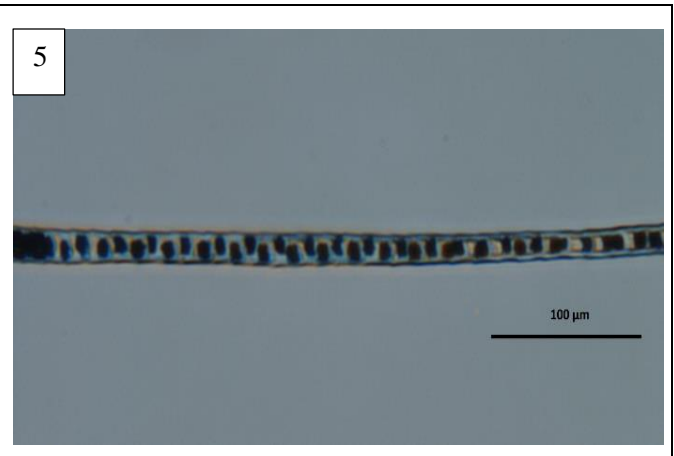
Figura 5. Médula del ejemplar IB 19091 (Quintana Roo)

Figura 6. Médula del ejemplar IB 30774 (Campeche)

Figura 7. Médula del ejemplar MZFC 7004 (Chiapas)

Figura 8. Médula del ejemplar MZFC 7023 (Chiapas)

Figura 9. Médula del ejemplar MZFC7030 (Chiapas)



***Otodylomys phyllotis* (continuación)**

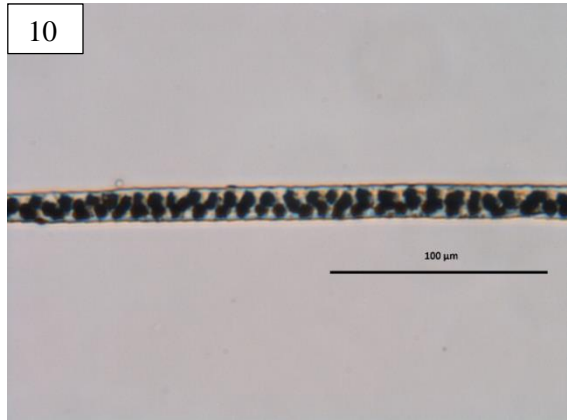
Figura 10. Médula del ejemplar MZFC 7031 (Chiapas)

Figura 11. Médula del ejemplar MZFC 7054 (Chiapas)

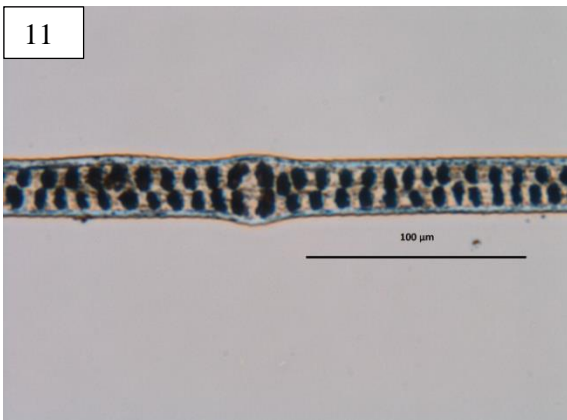
Figura 12. Médula del ejemplar MZFC 9707 (Yucatán)

Figura 13. Médula del ejemplar MZFC 9709 (Yucatán)

10



11



12



13



*Tylomys nudicaudus*

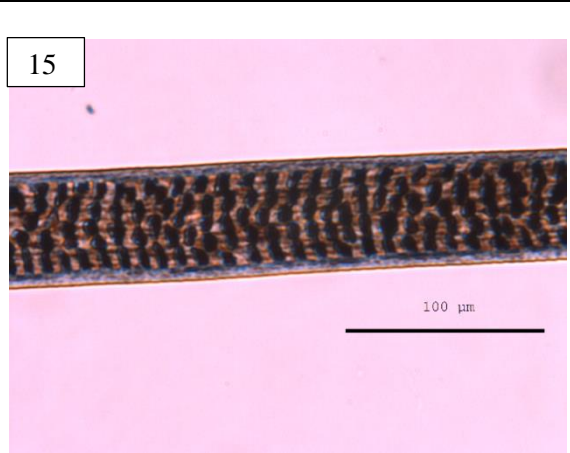
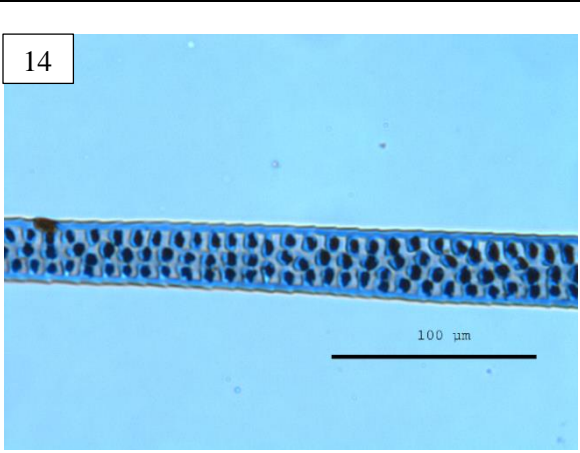
Figura 14. Médula del ejemplar NIZA042 (Oaxaca)

Figura 15. Médula del ejemplar 022BC (Chiapas)

Figura 16. Médula del ejemplar 023BC (Chiapas)

Figura 17. Médula del ejemplar UMSP103 (Oaxaca)





*Nyctomys sumichrasti*

Figura 18. Médula del ejemplar AEM017 (Chiapas)

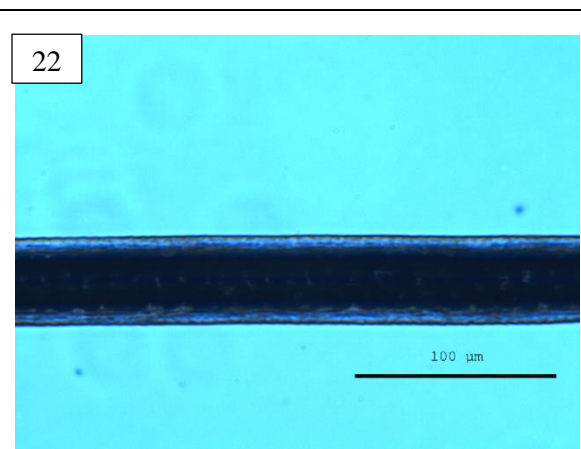
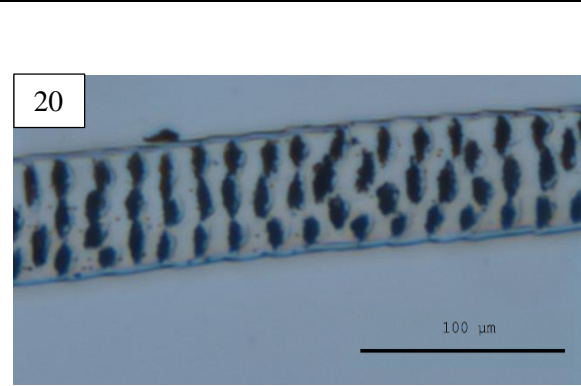
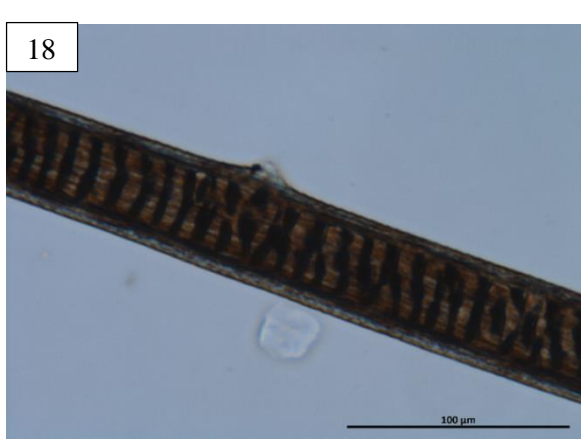
Figura 19. Médula del ejemplar MYAC 090 (Oaxaca)

Figura 20. Médula del ejemplar MYAC 096 (Oaxaca)

Figura 21. Médula del ejemplar TACM 028 (Chiapas)

Figura 22. Médula del ejemplar HBR 196 (Chiapas)

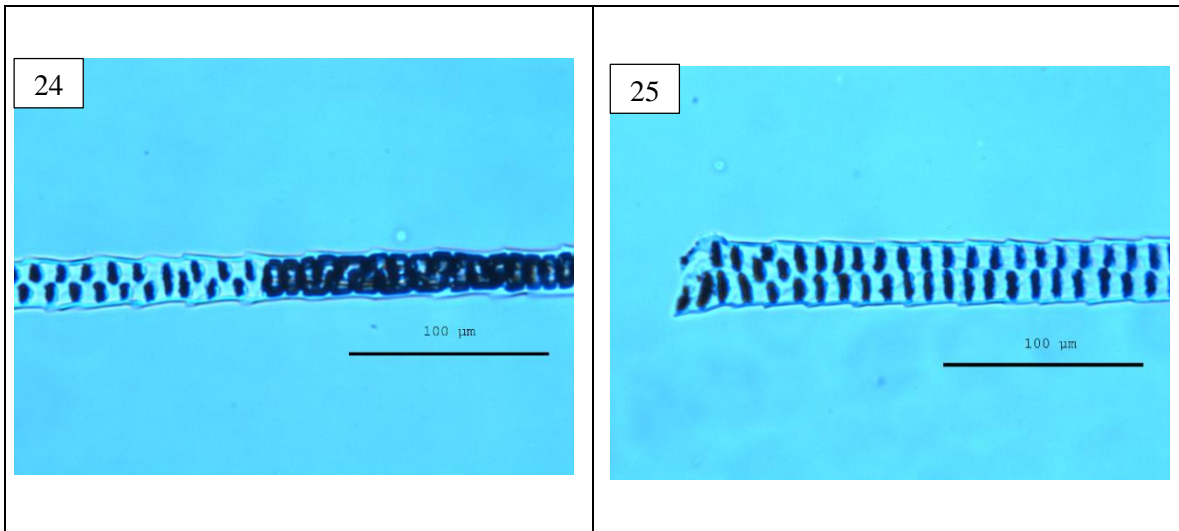
Figura 23. Médula del ejemplar HBR 276 (Oaxaca)



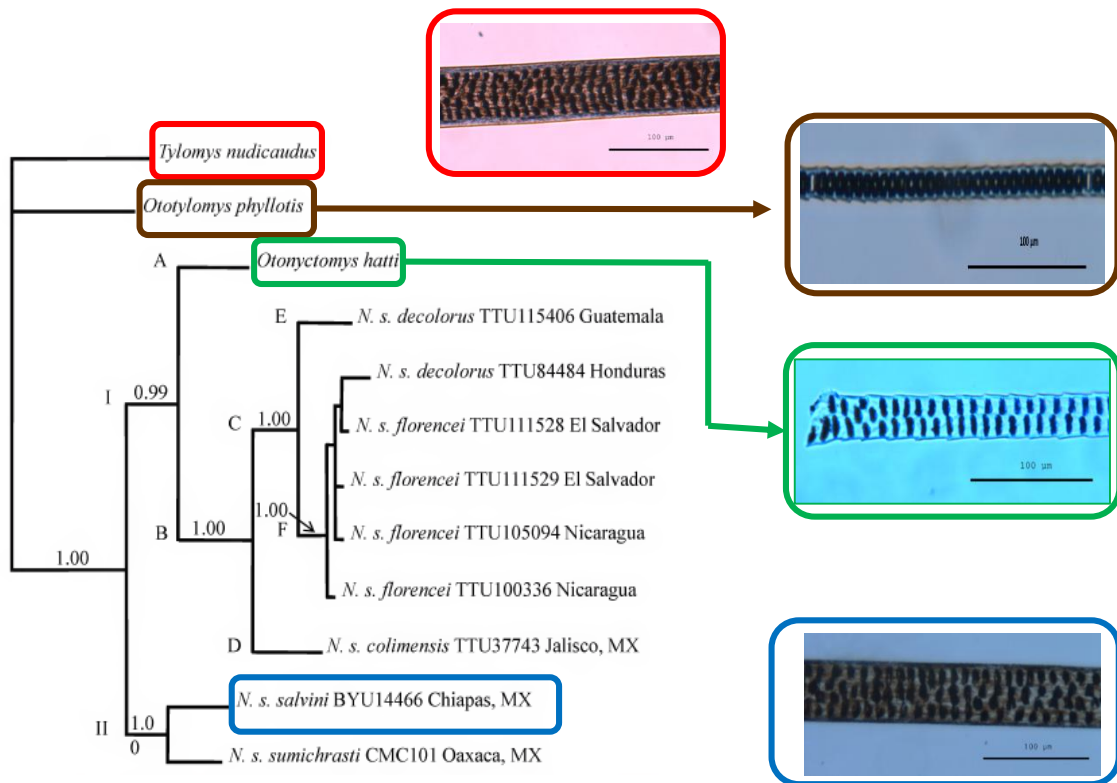
*Otonyctomys hatti*

Figura 24. Médula del ejemplar RAVGA049 (Quintana Roo)

Figura 25. Médula del ejemplar RAVGA049 (Quintana Roo)



A continuación, solamente cómo un ejercicio comparativo, se muestra el patrón medular observado, en los ejemplares analizados, para las cuatro especies de ratas arborícolas. Este carácter se optimizó en la filogenia publicada por Corley *et al.* (2011; Figura 26).



**Figura 26.** Optimización del patrón medular observado en los ejemplares de *Ototylomys phyllotis*, *Nyctomys sumichrasti*, *Otonyctomys hatti* y *Tylomys nudicaudus* (Filogenia tomada de Corley *et al.* 2011).

## **Análisis de la cutícula**

En cuanto al análisis de la cutícula de *Ototylomys phyllotis* (Figs. 27-36) y sus tres especies hermanas: *Tylomys nudicaudus* (Figs. 37-40), *Nyctomys sumichrasti* (Figs. 41-46) y *Otonyctomys hatti* (Figs. 47), se encontró que los ejemplares de *O. phyllotis* presentan un patrón de escamas hastadas simétricas. Mientras que, los ejemplares de las tres especies hermanas, presentan un patrón de escamas crenadas irregulares.

*Ototylomys phyllotis*

Figura 27. Cutícula del ejemplar IB 12393 (Chiapas)

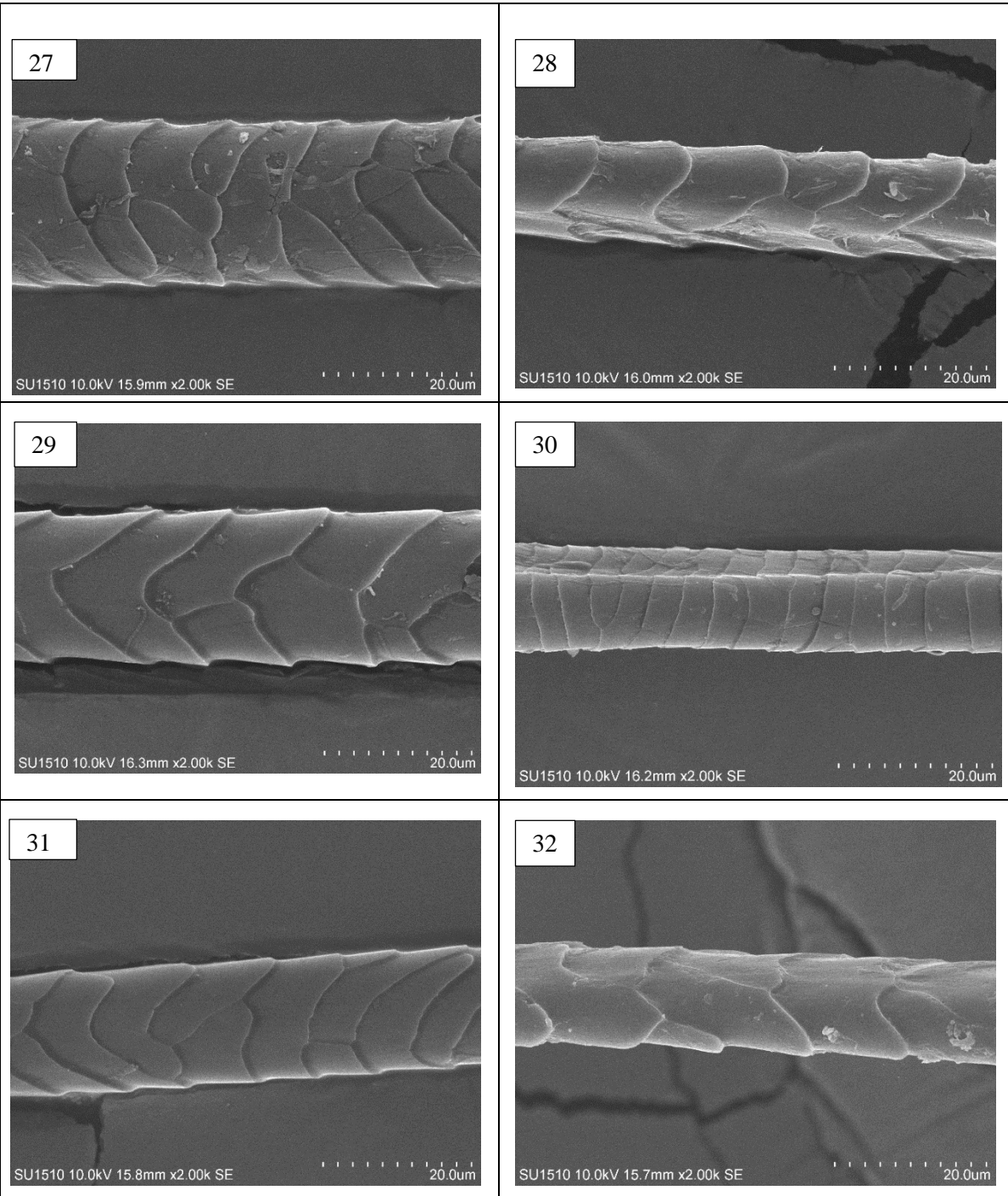
Figura 28. Cutícula del ejemplar IB 19091 (Quintana Roo)

Figura 29. Cutícula del ejemplar IB 30774 (Campeche)

Figura 30. Cutícula del ejemplar MZFC 7004 (Chiapas)

Figura 31. Cutícula del ejemplar MZFC 7023 (Chiapas)

Figura 32. Cutícula del ejemplar MZFC7030 (Chiapas)





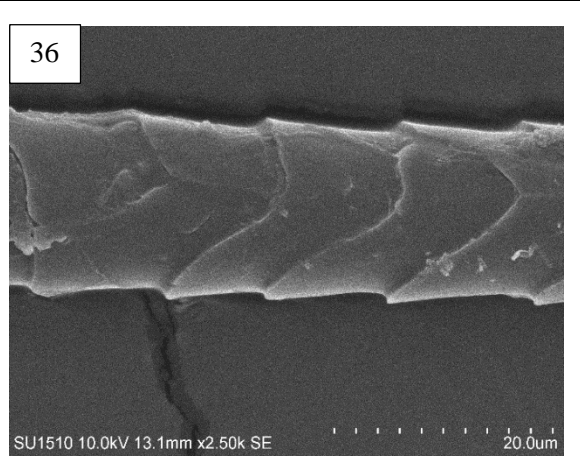
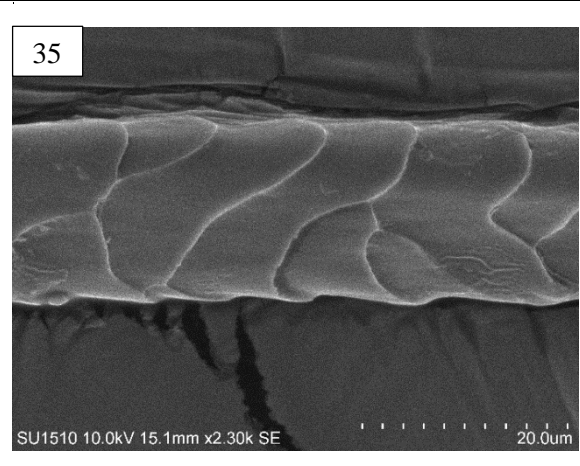
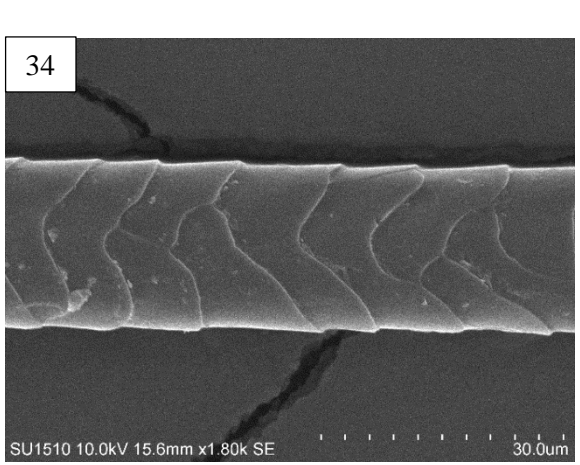
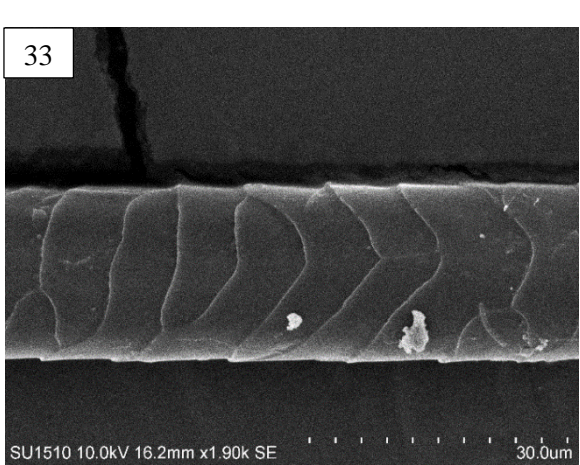
*Otodylomys phyllotis* (continuación)

Figura 33. Cutícula del ejemplar MZFC 7031 (Chiapas)

Figura 34. Cutícula del ejemplar MZFC 7054 (Chiapas)

Figura 35. Médula del ejemplar MZFC 9707 (Yucatán)

Figura 36. Médula del ejemplar MZFC 9709 (Yucatán)



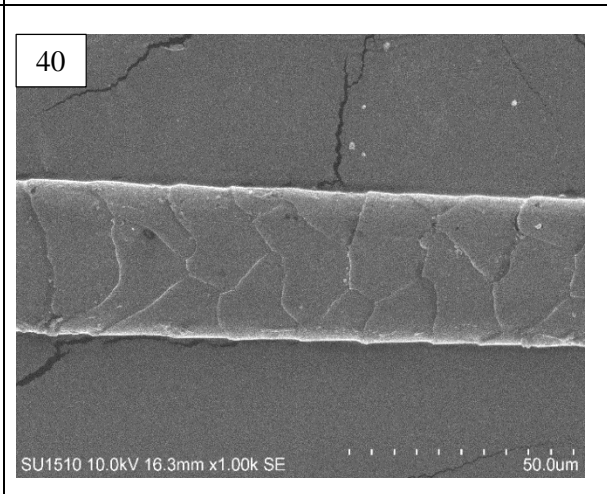
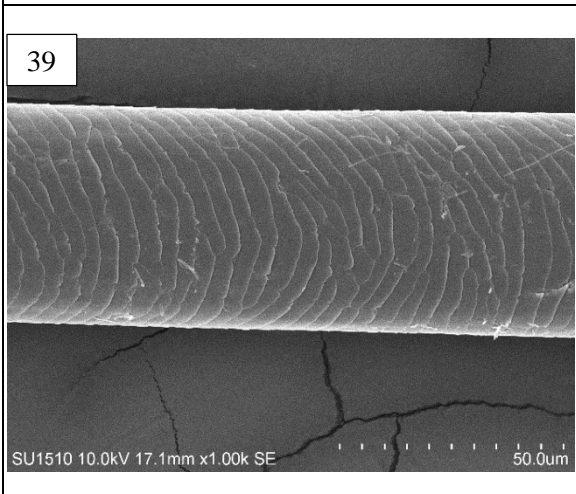
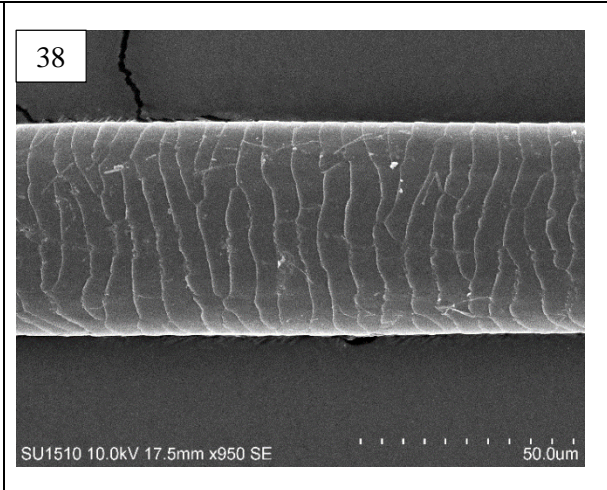
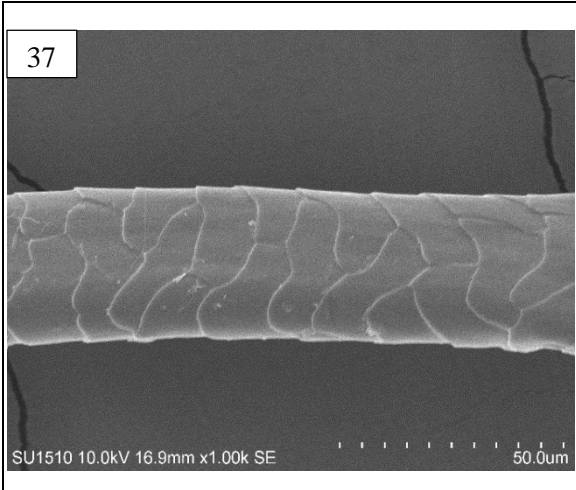
*Tylomys nudicaudus*

Figura 37. Médula del ejemplar NIZA042 (Oaxaca)

Figura 38. Médula del ejemplar 022BC (Chiapas)

Figura 39. Médula del ejemplar 023BC (Chiapas)

Figura 40. Médula del ejemplar UMSP103 (Oaxaca)



*Nyctomys sumichrasti*

Figura 41. Médula del ejemplar AEM017 (Chiapas)

Figura 42. Médula del ejemplar MYAC 090 (Oaxaca)

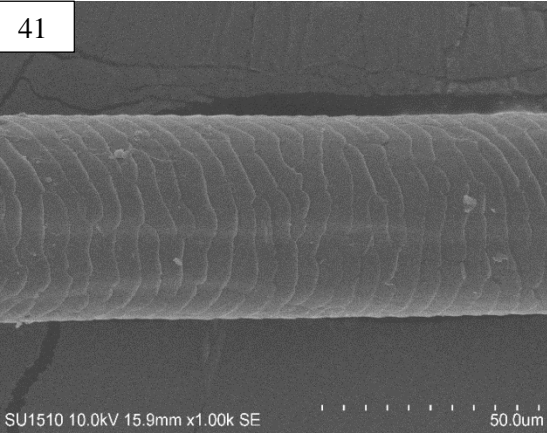
Figura 43. Médula del ejemplar MYAC 096 (Oaxaca)

Figura 44. Médula del ejemplar TACM 028 (Chiapas)

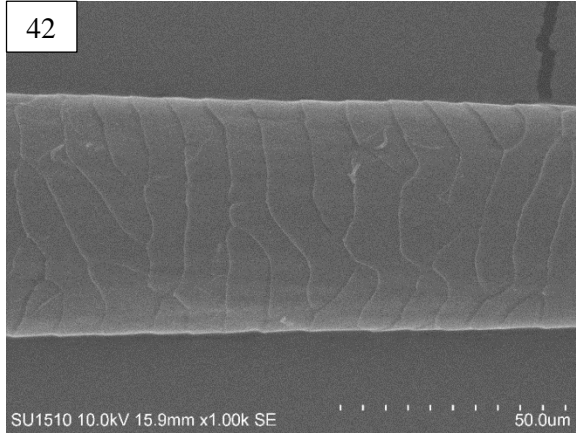
Figura 45. Médula del ejemplar HBR 196 (Chiapas)

Figura 46. Médula del ejemplar HBR 276 (Oaxaca)

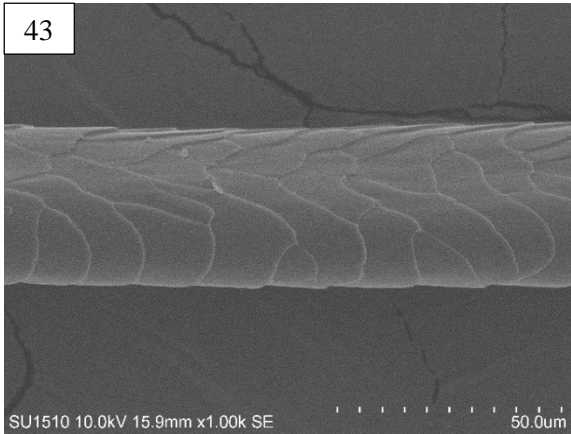
41



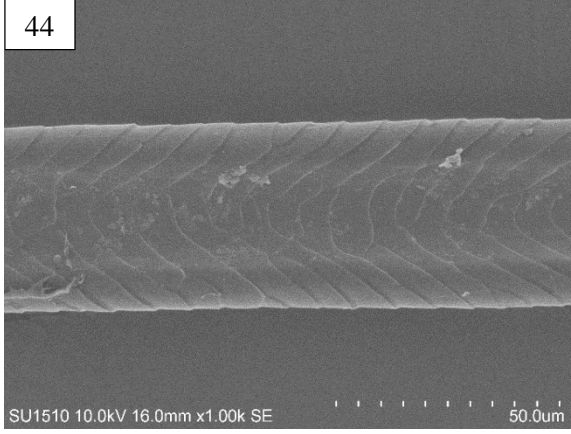
42



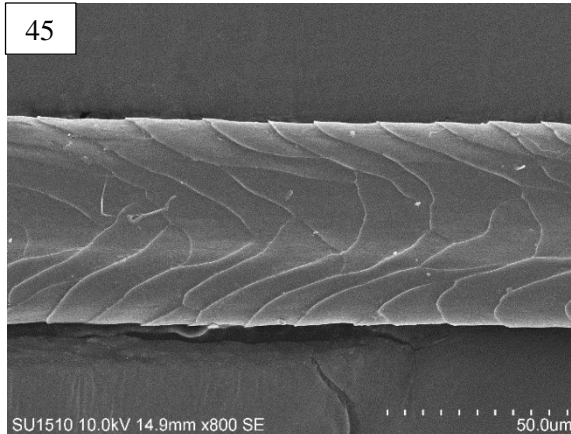
43



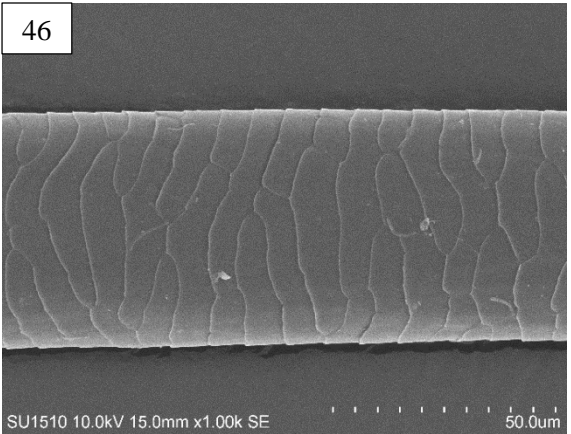
44



45

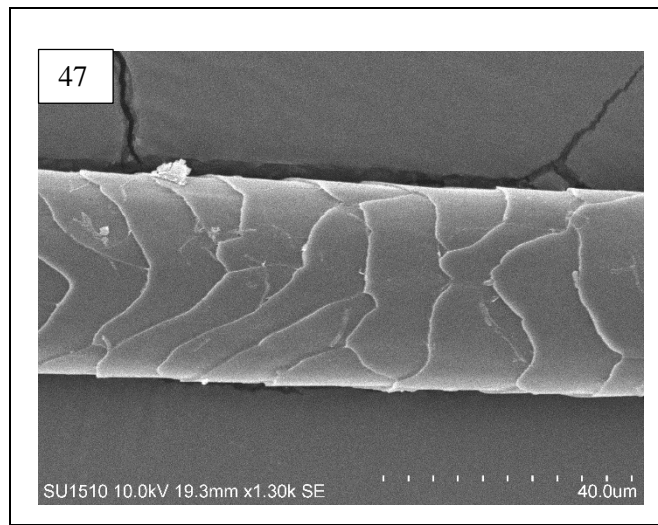


46

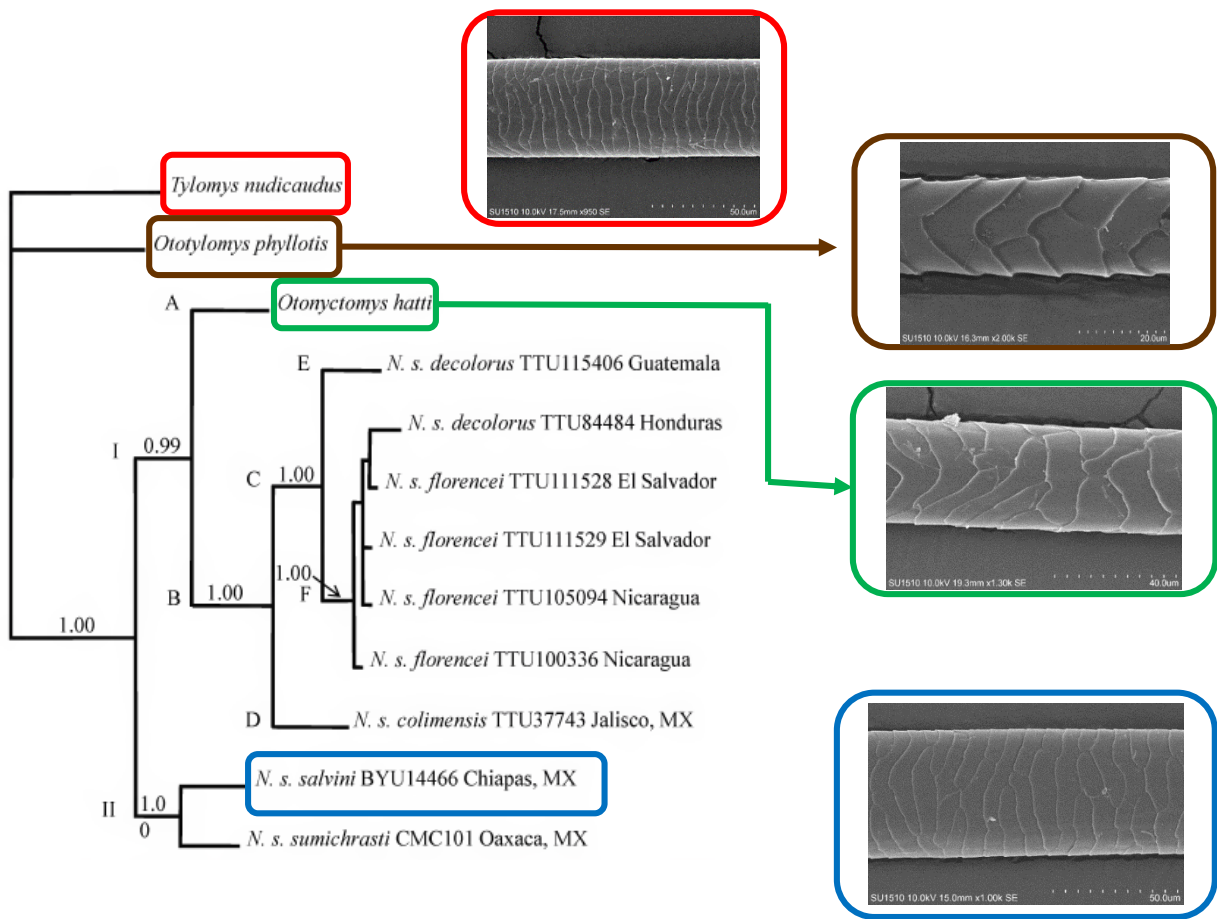


*Otonyctomys hatti*

Figura 47. Médula del ejemplar RAVGA049 (Quintana Roo)



Solamente cómo un ejercicio comparativo se muestra el patrón cuticular observado en los ejemplares analizados de las cuatro especies de ratas arborícolas. Este carácter se optimizó en la filogenia publicada por Corley *et al.* (2011; Figura 48).



**Figura 48.** Optimización del patrón cuticular observado en los ejemplares de *Ototylomys phyllotis*, *Nyctomys sumichrasti*, *Otomyctomys hatti* y *Tylomys nudicaudus* (Filogenia tomada de Corley *et al.* 2011).



## DISCUSIÓN

El estudio del pelo en mamíferos ha sido abordado para fines diversos, como el enfoque taxonómico (Homan y Genoways 1978; Pech-Canché *et al.* 2009; Lee *et. al* 2014; Alberts *et al.* 2017), de variación intraespecífica (Monroy-Vilchis *et al.* 2005; Davis *et al.* 2010) ó ecológico (Rocha-Mendes *et al.* 2010). En este sentido, independientemente del enfoque, el tipo de pelo analizado ha sido el pelo de guardia (o de protección). Los otros dos tipos de pelo que un mamífero puede presentar: vibrisas (pelos táctiles) y pelos de bajopiel (o de lana; Arita 1985), no han sido considerados ya que tienen rasgos reducidos o simplificados (Pech-Canché *et al.* 2009). Respecto a la región corporal de la cual se ha sugerido extraer la muestra del pelo de guardia, es la región dorsal media (Debelica y Thies 2009).

El pelo de guardia presenta características morfológicas constantes, es más fácil de trabajar en comparación con el pelo de bajopiel (Pech-Canché *et al.* 2009; Homan y Genoways 1978) y, al ser más grueso presenta más tolerancia a procesos taxidérmicos, digestivos o de putrefacción (Baca y Sánchez-Cordero 2004; Debelica y Thies. 2009; Pech-Canché *et al.* 2009; Alberts *et al.* 2017). Además de que el pelo de guardia muestra más caracteres morfológicos que pueden utilizarse para la identificación de especies (Lee *et al.* 2014; Tridico *et al.* 2014; Alberts *et al.* 2017). Si bien en estos caracteres existe alguna variación entre individuos, la variación interespecífica es mucho mayor que la variación intraespecífica, por lo que es posible la identificación genérica y específica a partir del análisis del pelo de guardia (Monroy-Vilchis y Rubio-Rodríguez 2003; Baca y Sánchez-Cordero 2004; Pech-Canché *et al.* 2009; Debelica y Thies 2009).

El objetivo de este trabajo fue analizar la médula y la cutícula del pelo de guardia de *O. phyllotis* y tres de sus especies hermanas: *T. nudicaudus*, *N. sumichrasti* y *O. hatti* (Bradley *et al.* 2004), lo que permitió evidenciar que este tipo de pelo, en estas especies, presenta variación interespecífica pero también similitudes en cuanto a sus características cuantitativas y cualitativas.

En cuanto a las características cuantitativas del pelo de guardia de *O. phyllotis*, *T. nudicaudus*, *N. sumichrasti* y *O. hatti* es importante destacar que este es el primer trabajo que obtiene información del ancho de la médula. Los valores más altos se observaron en *N. sumichrasti* y los más bajos en *O. hatti* (Tabla 2).

Respecto al ancho total del pelo de guardia, Pech-Canché *et al.* (2009) reportaron una cifra muy parecida a la cifra promedio calculada en este trabajo para *O. phyllotis* (ver Tabla 2). No obstante, estos autores midieron el diámetro del pelo en su parte más ancha, sin importar la región donde ésta se localizara. Mientras que, en este trabajo, esta medida y el análisis de la médula y cutícula se hicieron en la región media de cada muestra de pelo. Esto porque se ha señalado que las escamas, en la región media del tallo de un pelo, son las más maduras y uniformes (Benedict 1957; van Staaden y Jones Jr. 1997; Sessions *et al.* 2009).

Otros autores (Monroy-Vilchis *et al.* 2005) han identificado variación significativa en el diámetro de la médula y la longitud del pelo de algunas especies. En este sentido señalan que esta variación podría deberse a la adaptabilidad del pelo a distintas condiciones ambientales. Por lo tanto, estos autores y otros (Baca y Sánchez-Cordero 2004) sugieren que este factor debe considerarse siempre, sobre todo, en especies de amplia distribución. Si bien para este trabajo, en el caso de *O. phyllotis* no se contó con muestras de Centroamérica, los estados mexicanos dónde habita están representados en la muestra, con excepción de

Tabasco. Mientras que para sus tres especies hermanas, analizadas aquí, no fue posible tener una muestra representativa de toda su distribución geográfica.

Hay trabajos que también señalan que cambios estacionales podrían influir en determinadas características cualitativas del pelo (Debelica y Thies 2009). Mientras que Baca y Sánchez-Cordero 2004 señalaron que los factores hereditarios probablemente son los únicos que determinan las características del pelo más que los factores ambientales. En todo caso, considerar ambas posturas es importante en la interpretación integral de resultados.

### ***a) Análisis tricológico***

- ***Forma del pelo de guardia***

En cuanto a las características macroscópicas del pelo, se ha señalado que el pelo de guardia de *O. phyllotis* carece de escudo y presenta constricciones (Pech-Canché *et al.* 2009). En este análisis se corroboró lo propuesto por estos autores en cuanto al escudo ausente. La presencia de escudo en un pelo de guardia implica que la parte más ancha esté aplanada (Arita y Aranda 1987; Figura 2). En ninguna de las muestras analizadas (Apéndice 1), se encontró la presencia de escudo.

Respecto a las constricciones propuestas para *O. phyllotis* (Pech-Canché *et al.* 2009), los autores las describen como regiones angostas con reducción pronunciada del diámetro del cañón (ó tallo) o un dobléz pronunciado. En este sentido, en toda la muestra de *O. phyllotis* no se observaron reducciones pronunciadas del diámetro del cañón, pero si una curva en su estructura, que corresponde con la forma que el pelo de guardia puede presentar (Teerink 2003).

En el caso de *T. nudicaudus*, *N. sumichrasti* y *O. hatti*, no se tiene información previa sobre las características macroscópicas de su pelo de guardia. Para las dos primeras especies hay un trabajo que analiza el pelo de guardia, pero solamente describen el patrón medular y cuticular (Baca y Sánchez-Cordero 2004).

- ***Análisis de la médula***

En cuanto a la región medular en *O. phyllotis*, Pech-Canché *et al.* (2009) la describieron como escalonada uniserial. Esta descripción coincide con lo hallado en este trabajo (Ver figs. 4-13). Las características medulares de los pelos de guardia pueden variar a lo largo de éste (Tóth 2002), por lo que algunos autores han propuesto la médula principal y la médula secundaria (Pech-Canché *et al.* 2009). En el presente trabajo se eligió la región central (Benedict 1957; van Staaden y Jones Jr. 1997; Sessions *et al.* 2009), de cada muestra para describir el patrón medular, esta región equivaldría a la región ubicada entre la médula principal y la médula secundaria propuestas por estos autores.

Respecto a la médula del pelo de guardia, hay autores (Chernova 2001; Monroy-Vilchis *et al.* 2005), que la señalan como la variable cualitativa más importante en la identificación de los mamíferos y mencionan que podría no ser necesario el análisis de la longitud y diámetro del pelo. Por otro lado, se ha señalado que por sí sola, ninguna característica del pelo de guardia proporciona información suficiente para la identificación de especies (Baca y Sánchez-Cordero 2004). Por lo anterior, se ha sugerido analizar el color, los patrones de coloración, las escamas de la cutícula y la morfología de la médula (Baca y Sánchez-Cordero 2004; Alberts *et al.* 2017). Hay autores que incluso han evaluado también la longitud total del pelo (Alberts *et al.* 2017), el diámetro del pelo (Debelica y Thies 2009) y han realizado

cortes transversales (Niroshini y Meegaskumbura 2014).

En el caso de *N. sumichrasti* y *T. nudicaudus* se ha reportado que la médula muestra intrusiones corticales (Baca y Sánchez-Cordero 2004). Mientras que, en este trabajo, el análisis de la médula para estas especies, mostró en los ejemplares analizados, un patrón medular escalonado multiserial (Ver figs. 14-23). En el caso de *Otonyctomys hatti* es la primera vez que se analizan las características cuantitativas y cualitativas de su pelo de guardia y de acuerdo con lo observado en este trabajo, la médula del ejemplar analizado también presenta un patrón medular escalonado multiserial (Ver figs. 24-25). La estructura multicelular en la médula ha sido observada en otros roedores y como característica compartida entre las especies analizadas de los Órdenes Rodentia y Lagomorpha (Lee *et al.* 2014). Sin embargo, en este trabajo el patrón medular si difiere entre las especies analizadas, de tipo escalonada uniserial en *O. phyllotis* y escalonado multiserial en *N. sumichrasti*, *T. nudicaudus* y *O. hatti*.

- ***Análisis de la cutícula***

En cuanto al análisis de la cutícula como característica cualitativa del pelo de guardia, este es el primer trabajo que analiza la región cuticular del pelo de guardia de *O. phyllotis* y *Otonyctomys hatti*. En el caso de la muestra de *O. phyllotis*, la cutícula muestra un patrón de escamas hastadas simétricas (Ver figs. 27-36). Mientras que para *O. hatti* el patrón es de escamas crenadas irregulares, en el único ejemplar que fue posible analizar (Ver fig. 47).

En el caso de *Tylomys nudicaudus* y *Nyctomys sumichrasti* se ha reportado una cutícula con escamas onduladas irregulares (Baca y Sánchez-Cordero 2004). Sin embargo, en el presente estudio, para los ejemplares de ambas especies, se observó un patrón de escamas

crenadas irregulares (Ver figs. 37-46). De acuerdo con Arita y Aranda (1987), las escamas onduladas irregulares son un tipo de escama imbricada, es decir, que hay al menos dos escamas en cada hilera de la cutícula (Debelica y Thies 2009). En este sentido, en el presente análisis las escamas observadas en gran parte de la muestra fueron de tipo coronal, es decir, que una sola escama ocupa una hilera y rodea toda la circunferencia del pelo (Arita 1985; Debelica y Thies 2009).

En otros roedores se ha observado alta heterogeneidad en los patrones de las escamas, la cual incluso se presenta intra específicamente (Cavia *et al.* 2008). Al respecto, otros autores han señalado que la variación de la estructura de la cutícula entre especies y órdenes justifica su estudio en el contexto taxonómico (Sessions *et al.* 2009). En el caso particular de roedores múridos y cricétidos se ha señalado que el patrón de escamas cuticulares puede ser utilizado como criterio definitivo de identificación taxonómica (Keogh 1985).

Durante el análisis de la cutícula del pelo fue posible observar, en algunos casos, una depresión tipo canal en la región central del pelo. Esta característica cualitativa también fue observada en roedores heterómidos y a partir de ésta, los autores pudieron distinguir dos grupos morfológicos en función de esta característica cualitativa del pelo (Homan y Genoways 1978). En otro trabajo que describe tanto el pelo de roedores como de otros órdenes de mamíferos del oeste de Estados Unidos también se observa esta característica en una especie de roedor (Sessions *et al.* 2009).

### ***b) Tamaño de muestra para el análisis del pelo de guardia***

En cuanto al número de ejemplares utilizados para el análisis del pelo de guardia no hay un consenso en cuanto al tamaño de muestra. Se han utilizado dos ejemplares por especie, una hembra y un macho (Alberts *et al.* 2017); tres ejemplares por especie (Pech-Canché *et al.* 2009); cuatro ejemplares (Baca y Sánchez-Cordero 2004); cinco ejemplares (Tóth 2002); seis (Cavia *et al.* 2008); ó más de diez ejemplares por especie (Davis *et al.* 2010; Lee *et al.* 2014). Y en cuanto al número de pelos a analizar por ejemplar, se ha sugerido al menos tres pelos de cada espécimen (Cavia *et al.* 2008).

En este trabajo el número de ejemplares por especie no fue el mismo en las cuatro especies analizadas (Apéndice 1). La especie mejor representada fue *O. phyllotis* con 15 hembras y 9 machos, mientras que para *O. hatti* solamente se contó con una hembra. En el caso de *O. phyllotis* se buscó analizar la mayor cantidad de ejemplares disponibles y que también hayan sido parte del análisis morfogeométrico craneal de la especie (Gutiérrez-Blando *et al.* en preparación).

En cuanto a *O. hatti*, en un principio se contó con una hembra y un macho. Sin embargo, los datos de recolecta para el ejemplar macho fueron dudosos en cuanto al sitio de recolecta, señalándose la condición “cautiverio”. En cuanto a *N. sumichrasti* se analizaron 6 ejemplares (2 hembras y 4 machos) y para *T. nudicaudus*, la muestra fue de 4 ejemplares (1 hembra y 3 machos). Con excepción de *O. hatti*, para las especies incluidas en este estudio, se analizó un tamaño de muestra comparable con lo referido en trabajos previos (Baca y Sánchez-Cordero 2004; Pech-Canché *et al.* 2009; Alberts *et al.* 2017).

### ***c) El pelo de guardia como carácter taxonómico***

El análisis de la estructura del pelo desde una perspectiva taxonómica inició en el grupo de los murciélagos (Cole 1924; Benedict 1957). A partir de sus observaciones, estos autores concluyeron que los caracteres del pelo son de utilidad, en la identificación taxonómica, sólo hasta el nivel genérico. Sin embargo, trabajos posteriores que analizaron especies pertenecientes a otros órdenes de mamíferos, incluidos los murciélagos en ciertos casos, han podido reconocer diferencias en el pelo de guardia tanto a nivel genérico como específico. Esto ha quedado reflejado en el creciente número de publicaciones de claves de identificación de mamíferos con base en el análisis del pelo de guardia, las cuales lo han abordado a nivel regional (Arita 1985; Cavia *et al.* 2008; Sessions *et al.* 2009; Gómez y Cassini 2010), estatal (Monroy-Vilchis y Rubio-Rodríguez 2003; Baca y Sánchez-Cordero 2004; Pech-Canché *et al.* 2009; Debelica y Thies 2009) y federal (Lee *et al.* 2014).

En estos y otros trabajos se ha observado que las diferencias en la estructura del pelo han permitido distinguir distintos niveles taxonómicos. Por ejemplo, a nivel específico (Gómez y Cassini 2010; Cavia *et al.* 2008); a nivel de órdenes, como es el caso del Orden Artiodactyla, cuya estructura del pelo difícilmente podría confundirse con la de otros órdenes de mamíferos (Sessions *et al.* 2009). Y al mismo tiempo, se han observado diferencias a nivel específico dentro del mismo Orden Artiodactyla (Lee *et al.* 20014). Otro caso semejante se presenta en el Orden Didelphimorphia (Baca y Sánchez-Cordero 2004). En cuanto al Orden Chiroptera, una característica que unifica a todos sus integrantes es la ausencia de médula (Baca y Sánchez-Cordero 2004; Debelica y Thies 2009).

En el caso de los Roedores se ha señalado que no hay un criterio único que permita diferenciar rápidamente el pelo de los roedores del de otros mamíferos. Es necesario analizar



conjuntamente varias características del pelo (Arita 1985). En este trabajo, las cuatro especies de roedores analizadas mostraron diferencias y similitudes entre sí. Pero de forma integral se puede decir que la muestra de *O. phyllotis* se diferenció de las muestras de sus tres especies hermanas, tanto por los patrones medulares como los cuticulares.

#### ***d) La microscopía electrónica de barrido en el análisis de la estructura del pelo***

El análisis de las características cualitativas y cuantitativas del pelo ha sido posible gracias a la microscopía fotónica y electrónica (Quadros *et al.* 2006; Lee *et al.* 2014). Particularmente, el desarrollo de la microscopía electrónica de barrido y su aplicación en el campo de la tricología ha permitido el análisis de la ultraestructura de las escamas cuticulares, con lo cual es posible tener más caracteres taxonómicos confiables (Sessions *et al.*, 2009). La creciente publicación de trabajos que utilizan la microscopía electrónica en el análisis del pelo, desde el siglo pasado (Homan y Genoways 1978; Amman *et al.* 2002; Baca y Sánchez-Cordero 2004; Sessions *et al.*, 2009; Debelica y Thies 2009; Lee *et al.* 2014), confirma la relevancia de utilizar esta tecnología en el análisis del pelo.

Continuar integrando el análisis del pelo en los campos de la Sistemática, Ecología y Conservación de los mamíferos sin duda abonará al desarrollo de estas áreas. Por ejemplo, el folículo piloso es una fuente de DNA que puede reforzar estudios genéticos (Gómez y Cassini 2010; Lee *et al.* 2014; Alberts *et al.*, 2017). Aunado a la fuente valiosa de información que el análisis del pelo representa en estudios de hábitos alimenticios (Alberts *et al.*, 2017). En este sentido destaca la necesidad de trabajar en la conformación de colecciones de referencia de pelos de guardia, con el objetivo de fortalecer análisis taxonómicos, de dieta y esfuerzos de conservación de la mastofauna (Pech-Canché *et al.* 2009).

## CONCLUSIONES

- El pelo de guardia de la muestra de *Ototylomys phyllotis* se diferenci6 de la muestra analizada de sus tres especies hermanas, tanto por los patrones medulares como los cuticulares.
- Los ejemplares de *O. phyllotis* presentaron un patr6n medular escalonado uniserial, mientras que los pertenecientes a las especies *T. nudicaudus*, *Nyctomys sumichrasti* y *Otonyctomys hatti* mostraron un patr6n medular escalonado multiserieal.
- Los ejemplares de *O. phyllotis* presentaron un patr6n cuticular de escamas hastadas sim6tricas. Mientras que los ejemplares de las tres especies hermanas mostraron un patr6n de escamas crenadas irregulares.
- El uso del microscopio electr6nico de barrido representa una herramienta de gran alcance y utilidad en la descripci6n ultraestructural del pelo de guardia, particularmente de la regi6n cuticular.
- Debido a que el pelo de guardia puede proporcionar informaci6n taxon6mica valiosa, se sugiere que esta estructura, con sus caracter6sticas cualitativas como cuantitativas, sean incluida en estudios de Taxonom6a, Sistem6tica, Ecolog6a y Conservaci6n de la mastofauna mexicana.

## *Literatura citada*

**Alberts CC, Saranholi BH, Frei F & Galetti PM, Jr.** 2017. Comparing hair-morphology and molecular methods to identify fecal samples from Neotropical felids. *PLoS ONE* 12(9): e0184073.

**Álvarez, T. & Polaco, O.** 1983. Restos de moluscos y mamíferos cuaternarios procedentes de Loltún Yucatán. Cuaderno de Trabajo 26. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

**Amman, B. R., R. D. Owen & R. D. Bradley.** 2002. Utility of hair structure for taxonomic discrimination in bats, with an example from the bats of Colorado. *Occasional Papers of the Museum, Texas Tech University* 216:1-14.

**Arita, H.** 1985. Identificación de los pelos de guardia dorsales de los mamíferos silvestres del Valle de México. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

**Arita, H. & M. Aranda.** 1987. Técnicas para el estudio y clasificación de los pelos. Cuadernos de Divulgación, Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, 32:1-21.

**Arroyo-Cabrales, J. & Álvarez, T.** 2003. Capítulo 10. A preliminary report of the late Quaternary mammal fauna from Loltún Cave, Yucatán, México. En: *Ice age cave faunas of North America* (pp. 262- 272). Denver, Colorado: Indiana University Press y Denver Museum of Nature & Science.

**Baca Ibarra Itzel Isaura & Víctor Sánchez-Cordero.** 2004. Catálogo de pelos de guardia dorsal en mamíferos del estado de Oaxaca, México *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 75(2): 383-437.

**Benedict, F. A.** 1957. Hair structure as a generic character in bats. *University of California Publications in Zoology* 59:285-548.

**Bradley, R. D., C. W. Edwards, D. S. Carroll & C. W. Kilpatrick.** 2004. Phylogenetic relationships of neotomine-peromyscine rodents: based on DNA sequences from the mitochondrial cytochrome-b gene. *Journal of Mammalogy* 85:389–395.

**Cavia, R., A. Andrade, M.E. Zamero, M. S. Fernández, E. Muschetto, G. R. Cueto & O. V. Suárez.** 2008. Hair structure of small rodents from central Argentina: A tool for species identification. *Mammalia* 72: 35-43.

**Ceballos, G. & G. Oliva.** 2005. Los mamíferos silvestres de México. FCE-CONABIO, México, 986 pp.

**Chernova, O.F.** 2001. Architectonics of the medulla of guard hair and its importance for identification of taxa. *Doklady Biological Sciences* 376: 81-85.

**Cole, H. I.** 1924. Taxonomic value of hair in Chiroptera. *Phillipine J. Sci.*, 14:117-121.

**Corley, M. S., N. Ordóñez-Garza, D. S. Rogers & R. D. Bradley.** 2011. Molecular evidence for paraphyly in *Nyctomys sumichrasti*: support for a new genus of vesper mice? *Occasional Papers Museum of Texas Tech University* 306:1–10.

**Danforth, C.H.** 1925. Hair in its relations to question of homology and phylogeny. *American Journal of Anatomy* 36: 47-68.

**Davis, A. K., S.P. Brummer & J. Shivik.** 2010. Sexual differences in hair morphology of coyote and White-tailed deer: males have thicker hair. *Ann. Zool. Fennici* 47: 411-416.

**Debelica, A. & M. Thies.** 2009. Atlas and key to the hair of terrestrial Texas mammals. *Special Publications. Museum of Texas Tech University*. 55, 1-102.

**Gómez, J.J. & M. H. Cassini.** 2010. Uso de pelos de guardia para la identificación de mustélidos costeros en la Patagonia. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 45 (2): 365-370.

**Gutiérrez-García, T.A. & E. Vázquez-Domínguez.** 2012. Biogeographically dynamic genetic structure bridging two continents in the monotypic Central American rodent *Ototylomys phyllotis*. *Biological Journal of the Linnæan Society* 107:593-610.

**Gutiérrez-García, T.A., E. Vázquez-Domínguez E., J. Arroyo-Cabrales, M. Kuch, J. Enk, C. King & H.N. Poinar.** 2014. Ancient DNA and the tropics: a rodent's tale. *Biology Letters* 10: 20140224.

**Gutiérrez-García, T.A., E. Vázquez-Domínguez E., J. Arroyo-Cabrales, M. Kuch, J. Enk, C. King & H.N. Poinar.** 2015. Correction to “Ancient DNA and the tropics: a rodent's tale”. *Biology Letters* 11: 20150111.

**Hall, E. R.** 1981. *The mammals of North America*. E.U.A: Ed. John Wiley y Sons, Inc.

**Hausman, L.A.** 1920a. A micrological investigation of the hair structure of the Monotremata. *Amer. J. Anat.* 13: 463-485.

**Hausman, L.A.** 1920b. Microscopical identification of mammal hairs used in the textile industry. *Sci. Am.* 122 (2).

**Hausman, L.A.** 1920c. Structural characteristics of the hairs of mammals. *American Naturalist* 54: 496-523.

**Hausman, L.A.** 1924. Further studies of the relationship of the structural characters of mammalian hair. *Amer. Nat.* 58: 544-557.

**Homan, J.A. & H. H. Genoways.** 1978. An Analysis of hair structure and its phylogenetic implications among Heteromyid Rodents.

**Hunt, J.L., J. E. Morris & T.L. Best.** 2004. *Nyctomys sumichrasti*. *Mammalian Species* 754: 1-6.

**Juárez, D., C. Estrada, M. Bustamante, Y. Quintana, J. Moreira & J.E. López.** 2010. Guía ilustrada de pelos para la identificación de mamíferos mayores y medianos de Guatemala. Segunda Edición. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Escuela de Biología, 107 pp.

**Keogh, H.J.** 1985. A photographic reference system based on the cuticular scale patterns and Groove of the hair of 44 species of southern African Cricetidae and Muridae. *S.-Afr. Tydskr. Natuurnav* 15 (4): 109- 159.

**Lawlor, T. E.** 1969. A systematic study of the rodent genus *Otodylomys*. *Journal of Mammalogy* 50 (1):28-42.

**Lawlor, T. E.** 1982. *Otodylomys phyllotis*. *Mammalian Species* 181: 1-3.

**Lee, E., T-Y Choi, D. Woo, M.S. Min, S. Sugita & H. Lee.** 2014. Species Identification Key of Korean Mammal Hair. *J. Vet. Med. Sci.* 76(5): 667–675.

**MacSwiney, M.C., S. Hernández-Betancourt & R. Ávila-Flores.** 2009. *Otonyctomys hattii*. *Mammalian Species* 825: 1-5.

**Merriam, C.H.** 1901. Seven new mammals from Mexico, including a new genus of rodents. *Proc. Washington Acad. Sci.* 3: 559-563.

**Monroy-Vilchis, O. & R. Rubio-Rodríguez.** 2003. Guía de identificación de mamíferos terrestres del Estado de México, a través del pelo de guardia. México: Universidad Autónoma del Estado de México.

**Monroy-Vilchis, O., C. García-Morales, R. Rubio-Rodríguez, A. D. Hernández-Saint Martin, J.P. Medina-Castro, U. Aguilera-Reyes & A.I. Ortiz-García.** 2005. Variación intraespecífica e individual de los pelos de mamíferos del Estado de México: implicaciones en la identificación interespecífica. *Ciencia Ergo Sum* 12 (3): 264-270.

**Musser, G. G. & M. D. Carleton.** 2005. Superfamily Muroidea. Pp. 894–1531 en *Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference* (D. E. Wilson and D. M. Reeder, eds.). Tercera Edición. Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland.

**Niroshini D. M. C. & S. Meegaskumbura.** 2014. Identification of Sri Lankan Muroid Rodents using Hair Anatomy. *Ceylon Journal of Science (Bio. Sci.)* 43 (2): 17-30.

**Pech-Canché, J.M., J.E. Sosa-Escalante & M.E. Koyoc Cruz.** 2009. Guía para la identificación de pelos de guardia de mamíferos no voladores del estado de Yucatán, México. *Revista Mexicana de Mastozoología* 13: 7-33.

**Porter, C. A., N. E. Beasley, N. Ordóñez-Garza, L.L. Lindsey, D.S. Rogers, N.Lewis-Rogers, J.W. Sites, Jr., & R.D. Bradley.** 2017. A new species of big-eared climbing rat. Genus *Otodylomys* (Cricetidae: Tylomyinae), from Chiapas, Mexico. *Journal of Mammalogy* 98 (5): 1310-1329.

**Quadros, J. & E. L. A. Monteiro-Filho.** 2006. Coleta e preparação de pêlos de mamíferos para identificação em microscopia óptica. *Revista Brasileira de Zoologia* 23 (1): 274-278.

**Ramírez-Pulido, J., N. González-Ruiz, A. L. Gardner & J. Arroyo-Cabrales.** 2014. List of recent land mammals of Mexico, 2014. Special Publications, Museum of Texas Tech University 63:1–69.

**Reeder, S. A. & R. D. Bradley.** 2004. Molecular systematics of neotomine-peromyscine rodents based on the dentin matrix protein 1 gene. *Journal of Mammalogy* 85:1194–1200.

**Rocha-Mendes, F., S. Bos Mikich, J. Quadros & W. André Pedro.** 2010. Feeding ecology of carnivores (Mammalia, Carnivora) in Atlantic Forest remnants, Southern Brazil. *Biota Neotrop.*, 10 (4): 21-30.

**Sessions, B.D., W.M. Hess & W.Skidmore.** 2009. Can hair width and scale pattern and direction of dorsal scapular mammalian hair be a relatively simple means to identify species? *Journal of Natural History* 43(7-8): 489-507.

**Teerink, B. J.** 2003. *Hair of West European Mammals: Atlas and Identification Key.* Cambridge University Press. Nueva York, 224 pp.

**Tóth, M.** 2002. Identification of hungarian mustelidae and other small carnivores using guard hair analysis. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 48:237-250.

**Tridico, S.R., M.M. Houck, K. P. Kirkbride, M.E. Smith & B.C. Yates.** 2014. Morphological identification of animal hairs: Myths and misconceptions, possibilities and pitfalls. *Forensic Science International* 238: 101-107.

**van Staaen, M. & J. K. Jones, Jr.** 1997. Comparative morphology of dorsal hair of New World bats of the family Molossidae. Pp. 373–391 en *Homenaje al profesor Ticol Alvarez* (J. Arroyo-Cabrales and O. J. Polaco, eds.). Colección Científica, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México, México.

**Apéndice 1. Ejemplares revisados.** Los ejemplares revisados están organizados por especie. Primero se indica el número de catálogo asignado en la colección mastozoológica consultada. Los ejemplares que inician con las letras IB están resguardados en la Colección Nacional de Mamíferos de la UNAM; el resto de los ejemplares están resguardados en la Colección de Mamíferos de la Facultad de Ciencias de la UNAM. En seguida se indica el sexo (H, hembra; M, macho), estado (Cam, Campeche; Chi, Chiapas; Oax, Oaxaca; QRoo, Quintana Roo; Yuc, Yucatán), municipio, localidad y coordenadas geográficas (Long, longitud; Lat, latitud).

Especies	No. de catálogo	Sexo	Estado	Municipio	Localidad	Lon.	Lat.
<i>Ototylomys phyllotis</i>	MZFC 7004	M	Chi	Ocosingo	Ruinas de Yaxchilán	-91.003	16.904
	MZFC 7023	H	Chi	Ocosingo	Ruinas de Yaxchilán	-91.003	16.904
	MZFC 7030	H	Chi	Ocosingo	Ruinas de Yaxchilán	-91.003	16.904
	MZFC 7031	M	Chi	Ocosingo	Ruinas de Yaxchilán	-91.003	16.904
	MZFC 7054	H	Chi	Ocosingo	Ruinas de Yaxchilán	-91.003	16.904
	MZFC 9707	H	Yuc	Peto	Peto, Pechil	-88.8833	20.033
	MZFC 9709	H	Yuc	Peto	Peto, Pechil	-88.8833	20.033
	IB 12393	H	Chi	Salto de Agua	30 km W	-92.285	17.509
	IB 19091	M	QRoo	Tulum	Ruinas de Tulum	-87.4308	20.217
	IB 30774	M	Cam	Chamotón	30 km N por carretera	-90.738	18.868
	IB 30775	M	Cam	Calakmul	27.5 km S, 70 km E	-90.0272	18.356
	IB 30778	H	Cam	Calakmul	44 km S, 70 kmE	-90.0272	18.2058
	IB 30780	H	Cam	Calakmul	45 km S, 70 kmE	-90.0272	18.2059
	IB 30782	H	Cam	Calakmul	46 km S, 70 kmE	-90.0272	18.2060
	IB 30783	H	Cam	Calakmul	25 km N	-89.2333	18.717
	IB 30784	M	Yuc	Tinum	2 km E Chichen-Itza	-88.5547	20.68
	IB 31745	M	QRoo	Othón P. Blanco		-88.7905	18.419
	IB 31748	M	QRoo	Othón P. Blanco	6 km S, 1.5 km W	-88.9972	18.139
	IB 31750	H	QRoo	Othón P. Blanco	7 km S, 1.5 km W	-88.9972	18.139
	IB 36679	H	Cam	Calakmul	Chamotón, Central Chiclera Villahermosa	-89.6886	17.913
	IB 36681	H	Cam	Calakmul	Chamotón, Central Chiclera Villahermosa	-89.6886	17.913
	IB 37349	H	Cam	Calakmul	Zona Arqueológica Calakmul	-89.8	18.1
	IB 37350	M	Cam	Calakmul	Cueva del Sol AK-TUM-KIM. 33.3 km SSW	-89.4808	18.049
	IB 37351	H	Cam	Calakmul	Cueva del Sol AK-TUM-KIM. 33.3 km SSW	-89.4808	18.049
<i>Nyctomys sumichrasti</i>	AEM017	M	Chi	Ocosingo	Porción norte de la omega, Monumento Natural Yaxchilán	-90.9736	16.898
	TACM 028	H	Chi	Unión Juárez	Poblado de Chiquihuites	-92.1016	15.098



	HBR 196	M	Chi	Manuel Benavides	Reserva PRONATURA, Huitepec	-103.629	28.707
	MYAC 090	M	Oax	Santa Catarina Juquila	La Yerbabuena	-97.355	16.203
	MYAC 096	H	Oax	Santa Catarina Juquila	La Yerbabuena	-97.355	16.203
	HBR 276	M	Oax	Pluma Hidalgo	Finca Infiernillo a 2.3 km a 234° de Pluma Hidalgo	-96.4319	15.943
<i>Tylomys nudicaudus</i>	022 BC	M	Chi	Berriozábal	Carr. Ocozocuautila-Malpaso, km 21, Reserva Laguna Bélgica	-93.3139	16.823
	023BC	H	Chi	Berriozábal	Carr. Ocozocuautila-Malpaso, km 21, Reserva Laguna Bélgica	-93.3139	16.823
	NIZA042	M	Oax	Asunción Ixtaltepec	Nizanda, Cerro Verde	-95.0064	16.666
	UMSP103	M	Oax	Santa María Chimalapa	Rumbo a Chalchijapa	-94.5992	17.077
<i>Otonyctomys hatti</i>	RAVGA049	H	QRoo	Lázaro Cárdenas	Reserva de la Biósfera El Edén	-87.1921	21.21