
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

INFORME FINAL DE SERVICIO SOCIAL POR ACTIVIDADES
RELACIONADAS CON LA PROFESIÓN

PARA OBTENER EL GRADO
DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA

**Estudio de vistas del cráneo de musarañas del género
Cryptotis mediante morfometría geométrica**

QUE PRESENTA EL ALUMNO

Jonathan Salvador Ramírez Martínez

2173062418

ASESORES

Asesor interno

Dra. Patricia Castilla Hernández, UAM-X (30606)

VoBo.  _____

Asesor externo

Dr. José Juan Flores Martínez, UNAM (130186)

VoBo.  _____

Ciudad de México, 27 de septiembre 2022.

Resumen

Las musarañas forman parte de uno de los órdenes más diversos y distribuidos en el planeta: el orden Eulipotyphla dentro del cual se localiza el género *Cryptotis*, aunque a pesar de ello se encuentran muy poco representados en colecciones biológicas, la dificultad de su observación ha sido la razón por la que la sociedad difícilmente se interesa en su estudio (Guevara, 2019). Algunas especies de *Cryptotis* muestran que tuvieron cambios en su tamaño en eras geológicas (Woodman y Croft, 2005). Parte importante de estos cambios en alguna estructura morfológica se puede analizar mediante la morfometría geométrica (MG) que utiliza análisis multivariados a partir de puntos de referencia (Galán, 2016; Toro-Ibacache et al., 2010; Zeldich et al., 2004). Los cambios en la forma de las estructuras biológicas en los organismos aportarán respuestas en relación con el desarrollo durante su historia de vida (Klingenberg, 2010). Es por ello que la implementación de la MG en el estudio de la forma es importante para comprender el desarrollo de las diferentes especies. En este contexto, es como se realizó la integración del Servicio Social en la modalidad de Actividades Relacionadas con la Profesión, con el fin de incorporar un estudio de MG de diferentes vistas del cráneo de musarañas pertenecientes al género *Cryptotis* que colabore en el mejoramiento del conocimiento de las diferencias en la forma de las diversas especies analizadas. Las actividades desarrolladas durante el periodo de Servicio Social fueron el análisis de los especímenes, obtención de las fotografías, selección de los puntos de referencia, digitalización de imágenes y el análisis de datos de las diferentes vistas del cráneo de las musarañas pertenecientes a las colecciones KU y USNM. El aprendizaje durante el periodo de Servicio Social fue excelente, porque además de aplicar los conocimientos adquiridos durante la licenciatura el autor del presente estudio obtuvo herramientas que le permitirán desarrollar habilidades para la aplicación de la morfometría geométrica en distintos organismos y lograr resolver cuestiones de desarrollo y evolución.

Palabras clave: *Cryptotis*, musaraña, morfometría geométrica, cráneo, colecciones, superposición de Procrustes.

Índice

1. Marco institucional	4
2. Introducción.....	4
3. Ubicación geográfica.....	6
4. Objetivo general del proyecto	6
5. Especificación y fundamento de las actividades desarrolladas.....	6
5.1 Análisis de los especímenes	6
5.2 Obtención de fotografías de las vistas dorsal, ventral, lateral y mandíbula del cráneo	7
5.3 Selección de puntos de referencia.....	7
5.4 Digitalización de las imágenes.....	9
5.5 Análisis de datos	10
5.5.1 Resultados	10
5.5.2 Discusión.....	14
6. Impactos de las actividades del servicio social	16
7. Fundamento de las actividades del servicio social	16
8. Referencias	16

1. Marco institucional

El Instituto de Biología se inauguró en el año 1959, tiene como misión desarrollar investigación científica sobre el origen y el mantenimiento, las interacciones, la distribución, la composición actual, el aprovechamiento y la conservación de la diversidad biológica.

Asimismo, es su misión se considera albergar las Colecciones Biológicas Nacionales y sus datos asociados, participar en la formación de recursos humanos de alto nivel en su área y difundir el conocimiento entre la sociedad mexicana, con el propósito de contribuir a la comprensión y conservación de la biodiversidad nacional y mundial.

2. Introducción

Uno de los estudios importantes que se lleva a cabo desde inicios de la biología, es la descripción morfológica de los seres vivos, esto para analizar diferencias entre especies y dentro de una misma especie lo cual ha servido para realizar aproximaciones entre grupos, poblaciones y especies siendo base de la taxonomía clásica (Adams et al., 2013; Villalobos y Benítez, 2020).

A comienzos de la década de 1930, con el desarrollo de técnicas estadísticas multivariadas, la morfología adquirió un enfoque que pasó a conocerse como “morfometría tradicional” o “morfometría multivariada” (Marcus, 1990; Rohlf y Marcus, 1993; Adams et al., 2004). A pesar de ello no se obtendría una visualización gráfica del cambio de la forma, hasta que Kendall (1997) estable las bases de la metodología, dando solución a los vacíos de la morfometría tradicional, definiendo la forma como “Toda información geométrica que resulta de retirar los efectos de la posición, escala y rotación”. De este modo la morfometría tradicional empezó a centrarse en la “forma de las estructuras” al establecer técnicas adicionales, pasando a ser conocida como “Morfometría geométrica” (MG).

La MG analiza la forma de los organismos o de alguna de sus estructuras considerando el espacio geométrico y utilizando métodos estadísticos multivariados, esto a partir de puntos de referencia. Estos análisis no se ven afectados por el tamaño del individuo, su rotación, ni escala (Galán, 2016; Toro-Ibacache et al., 2010; Zeldich et al., 2004). Los cambios en la forma de diversas estructuras biológicas en los organismos son importantes para comprender

la variación morfológica, ya que la MG se utiliza para resolver preguntas sobre evolución y desarrollo en los organismos (Klingenberg, 2010).

Para el caso de los vertebrados la MG ha sido empleada en el campo de estudio de la taxonomía y filogenia, utilizando diferentes estructuras morfológicas como el cráneo, los molares, la mandíbula y la escápula en diversos grupos de mamíferos (García y Sánchez-González, 2013). Para el estudio de mamíferos la MG es usada para determinar variaciones intra e interespecíficas y establecer relaciones filogenéticas, dentro de los mamíferos podemos encontrar a uno de los órdenes más diversos y ampliamente distribuidos que es el orden Eulipotyphla (Guevara, 2019).

Los Eulipotiflos integran uno de los componentes mastozoológicos de la biodiversidad en México más importantes en cuanto a su número de especies (Asher y Helgen, 2010). Dentro de este orden encontramos a las musarañas del género *Cryptotis*, son organismos de tamaño pequeño a mediano, ojos diminutos, pelaje denso y hocico largo y delgado, con una amplia distribución en el continente de América (Quiroga y Molinari, 2012). A pesar de ello en esta región se encuentran entre los mamíferos menos representados en colecciones biológicas. Al tener una apariencia similar a la de los ratones caseros, la dificultad para observarlas, han provocado que la sociedad, difícilmente se vea interesada en conocerlas y estudiarlas (Guevara, 2019). Sus especies están distribuidas de forma discontinua desde Canadá hasta Perú y habitan diferentes ecosistemas desde el nivel del mar hasta zonas de alta montaña (Woodman y Péfaur, 2008).

Se han ubicado a las musarañas en base a sus caracteres morfológicos dentro de cuatro grupos de especies informales, pero probablemente monofiléticos. El primer grupo *Cryptotis mexicanus* con 9 especies distribuidas en Centro América, desde el noreste de México, hasta la región central de Honduras. El segundo grupo *Cryptotis nigrescens*, que contiene a 6 especies, distribuidas desde el Sur de México hasta Colombia. El tercer grupo *Cryptotis parvus*, con dos especies reconocidas, que se encuentran distribuidas desde el noreste de Norteamérica hasta los valles centrales de Costa Rica. El último grupo es *Cryptotis thomasi* con 10 especies (Choate, 1970; Woodman y Timm, 1993; Woodman, 1996; Woodman y Timm, 1999, 2000 y Woodman y Péfaur, 2008).

Algunas especies actuales de *Cryptotis* muestran que decrecieron en tamaño a partir del pleistoceno tardío, como es el caso de *C. mexicanus* (Esteva et al., 2005). Existen registros de fósiles del mismo género que experimentaron cambios en dirección contraria, aumentando de tamaño desde el pleistoceno tardío hasta la época actual, como el caso de *Cryptotis goodwini* que actualmente es una especie de mayor talla a la de sus registros fósiles (Woodman y Croft, 2005).

Partiendo de imágenes obtenidas para diferentes especies pertenecientes al género *Cryptotis* de las colecciones USNM y KU, en este trabajo se reportan las actividades realizadas en un estudio de cuatro vistas del cráneo para diferentes especies del género *Cryptotis* mediante MG, para determinar si existen diferencias significativas en las estructuras de los organismos en función del cráneo (vista dorsal, ventral, lateral y mandíbula).

3. Ubicación geográfica

El Instituto de Biología (UNAM), donde se efectuó el servicio social se localiza en Cto. Zona deportiva S/N, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, Ciudad de México, México. En las coordenadas 19° 18'44" N, 99°11'46" O.

4. Objetivo general del proyecto

Realizar un estudio de las vistas dorsal, ventral, lateral y de mandíbula del cráneo de diferentes especies del género *Cryptotis* mediante morfometría geométrica.

5. Especificación y fundamento de las actividades desarrolladas

5.1 Análisis de los especímenes

Se examinaron 92 fotografías de las colecciones KU (Collection of Mammalogy, Kansas University Natural History Museum, University of Kansas) y USNM (Mammals Collection, National Museum of Natural History, Smithsonian Institution), de la selección de imágenes obtenidas se utilizaron cuatro tipos de vistas: 1) dorsal, 2) ventral, 3) lateral y 4) mandíbula, para su digitalización y análisis posterior de las especies *C. colombiana*, *C. endersi*, *C. equatoris*, *C. griseoventris*, *C. magnus*, *C. merriami*, *C. merus*, *C. mexicanus*, *C. nelsoni*, *C. obscurus*, *C. oreocytes*, *C. parvus*, *C. peregrinus*, *C. phillipsii*, y *C. tropicalis*.

5.2 Obtención de fotografías de las vistas dorsal, ventral, lateral y mandíbula del cráneo

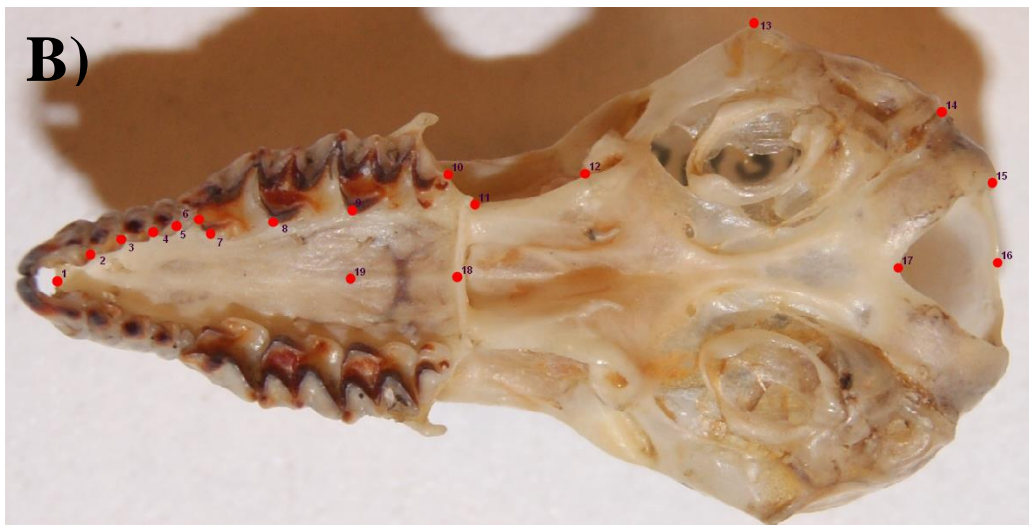
Se obtuvieron 255 imágenes, quedando del siguiente modo: 74 de dorsal, 65 de ventral, 67 de lateral y 49 de mandíbula (ver Tabla 1). Las imágenes fueron otorgadas por parte del Dr. Lázaro Guevara López, debido a que la Colección Nacional de Mamíferos del Instituto de Biología de la UNAM se encontraba en proceso de mudanza al Pabellón Nacional de la Biodiversidad.

Tabla 1. Imágenes obtenidas por especie para cada una de las vistas.

Especie	Vista			
	Dorsal	Ventral	Lateral	Mandíbula
<i>C. colombiana</i>	1	1	1	0
<i>C. endersi</i>	1	1	1	0
<i>C. equatoris</i>	3	3	3	2
<i>C. griseoventris</i>	7	7	6	6
<i>C. magnus</i>	9	8	9	11
<i>C. merriami</i>	7	6	7	0
<i>C. merus</i>	4	3	4	2
<i>C. mexicanus</i>	10	10	12	12
<i>C. nelsoni</i>	6	5	5	3
<i>C. obscurus</i>	10	7	7	4
<i>C. oreocytes</i>	1	2	0	0
<i>C. parvus</i>	3	2	2	3
<i>C. peregrinus</i>	10	9	8	3
<i>C. phillipsii</i>	1	0	1	3
<i>C. tropicalis</i>	1	1	1	0
TOTAL	74	65	67	49

5.3 Selección de puntos de referencia

Para la selección de puntos en cada una de las vistas nos basamos en las siguientes configuraciones. Para la vista dorsal del cráneo nos apoyamos en la configuración de Finlay y Cooper (2015). La configuración usada para la vista ventral fue obtenida de Vega-Bernal (2010). La vista lateral se realizó de acuerdo con el estudio de Panchetti et al. (2008). Para la vista de la mandíbula la configuración se estableció siguiendo la de Saeedzadeh et al. (2017) (Fig. 2).



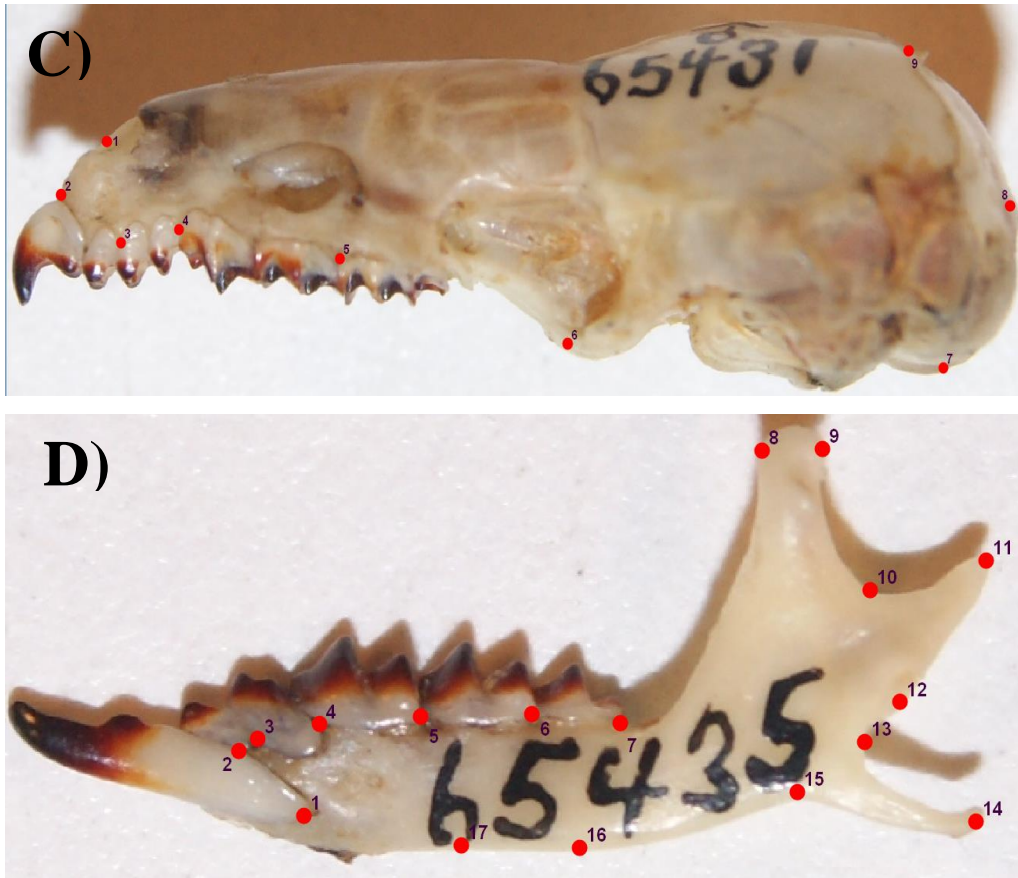


Figura 2. Puntos numerados para los cráneos en vista dorsal. A) *C. nelsoni* USNM 65437, B) *C. nelsoni* USNM 65432 ventral, C) *C. nelsoni* USNM 65431 lateral y D) *C. nelsoni* USNM 65435 mandíbula.

5.4 Digitalización de las imágenes

Mediante el software de tpsUtil64, se realizó la operación de “build tps file from images” esto para generar el formato tps, el cual contiene las imágenes para cada una de las vistas del cráneo y generar la visualización de las imágenes en el programa tpsDig232 para digitalizar puntos de referencia (LM), el número total de puntos asignados en cada vista se puede observar en la Tabla. 2. Se estableció una escala en cada imagen y adicionalmente, se crearon archivos de valores separados correspondiente a cada una de las vistas, en las que se agregó información denominando un ID por el tipo de colección y especie.

Tabla 2. Tipo de vista y puntos de referencia colocados en las imágenes con tpsDig232.

Vista	Puntos de referencia
Dorsal	12 puntos
Ventral	19 puntos
Lateral	9 puntos
Mandíbula	17 puntos

5.5 Análisis de datos

Teniendo digitalizados los puntos de referencia y una vez creado el archivo de valores separados para cada vista, se procedió a ingresar los archivos para su análisis en el programa R versión 4.1.3. Usando las librerías *geomorph*, *RRPP*, *Morpho* y *MASS*, posteriormente se realizó el método de superposición de Procrustes para remover información de tamaño, posición y orientación, dejando solo la variación de forma (Rolf y Slice, 1990). Posteriormente se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para conocer si existían diferencias a un nivel de significancia de 0.05 en la forma de los organismos por su especie. En caso de encontrar diferencias significativas se aplicó un análisis multivariado para obtener una visualización de los ejes con mayor variación, que fue el Análisis de Componentes principales (PCA), que es un método de ordenación que puede ser utilizado para examinar la variación de los datos (Slice, 2007); así obtener una visualización de los ejes con mayor variación.

5.5.1 Resultados

El análisis de ANOVA en las vistas dorsal, ventral, lateral y mandíbula demuestra que existen diferencias significativas entre las especies ($p < 0.05$) (Tablas 3, 4, 5 y 6). Para el análisis multivariado (Figuras 3, 4, 5 y 6) se observan las relaciones entre los puntos de referencia por especie, donde las elipses demuestran las diferencias en la forma de los organismos, se pueden distinguir grupos distintos en cuanto a su MG. La variación en los individuos por especie se encuentra representando por puntos, donde cada una de las marcas representa a un individuo de la población y cada elipse contiene una distancia propia de la comparación entre los grupos.

Para la vista dorsal se distinguen ocho grupos, se observa que los grupos más evidentes son *C. merus* y *C. merriami* (Figura 3).

Tabla 3. Análisis de ANOVA en la vista dorsal, refleja diferencias significativas entre las especies ($p = 0.001$).

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	P
Especie	0.055228	14	0.0039449	5.0219	0.001
Residuals	0.046347	59	0.0007855		
Total		73			

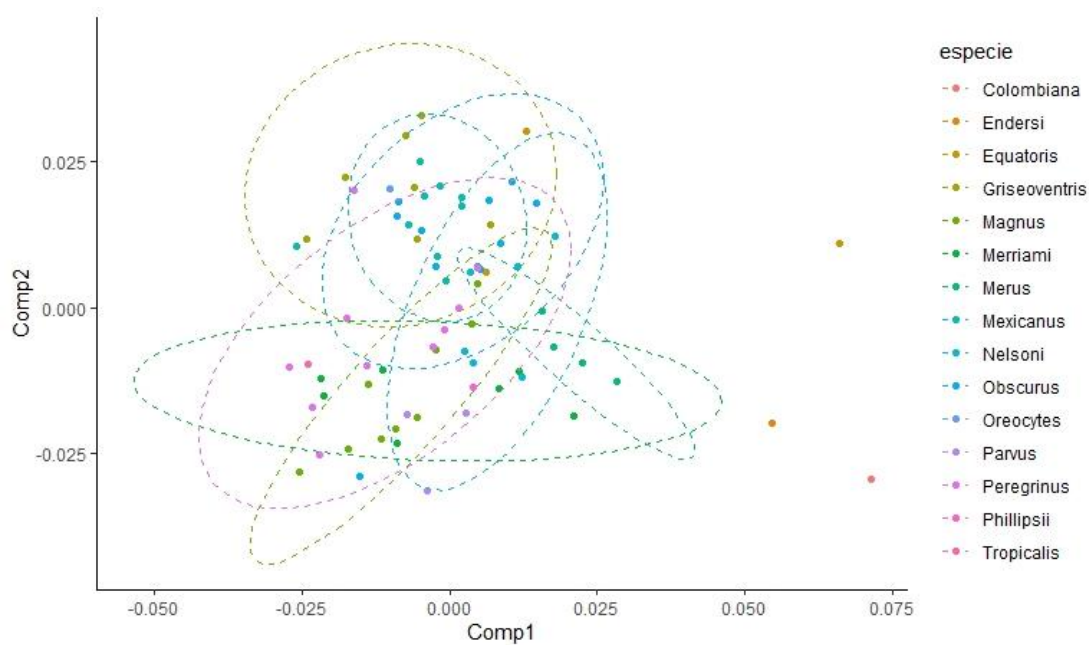


Figura 3. Diagrama obtenido de los PCA en la vista dorsal, que muestra la variación de los organismos clasificados por su especie.

Para la vista ventral (Figura 4) se distinguen siete grupos donde los que muestran más diferencia en la forma de los organismos son las especies de *C. magnus* y *C. merriami* ya que se encuentran más separadas del resto.

Tabla 4. Análisis de ANOVA en la vista ventral, refleja diferencias significativas entre las especies ($p = 0.001$).

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	P
Especie	0.041022	13	0.00315552	4.6572	0.001
Residuals	0.034555	51	0.00067755		
Total	0.075577	64			

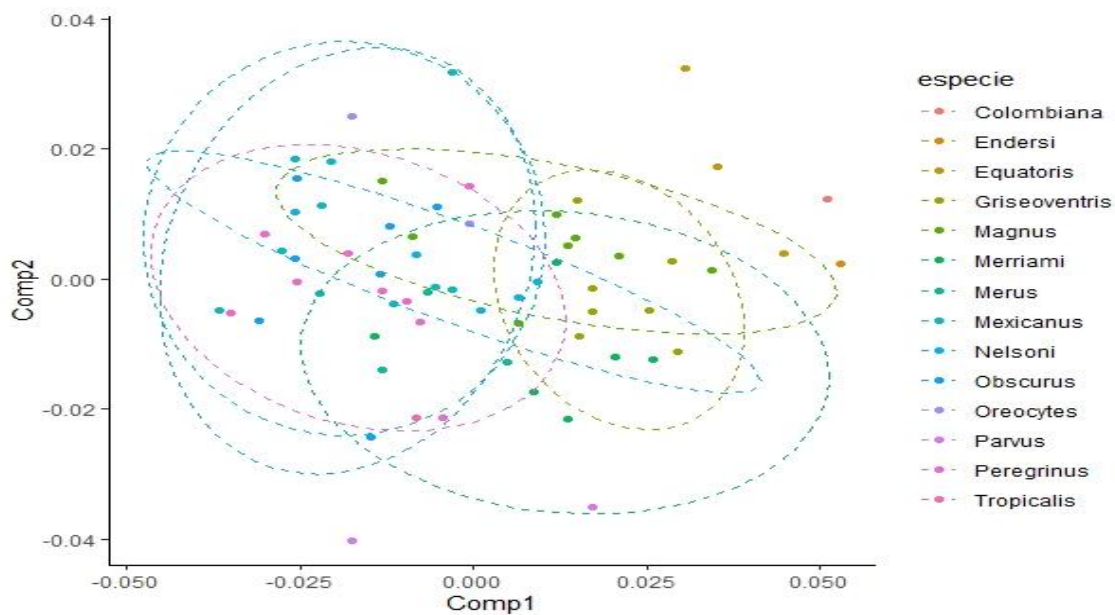


Figura 4. Diagrama obtenido de los PCA en la vista ventral, que muestra la variación de los organismos clasificados por su especie.

Para la vista lateral (Figura 5) se distinguen ocho grupos, donde el grupo más evidente en existencia de diferencia en forma de los organismos es de *C. equatoris*.

Tabla 5. Análisis de ANOVA en la vista lateral, refleja diferencias significativas entre las especies ($p = 0.001$).

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	P
Especie	0.126091	13	0.0096993	5.5908	0.001
Residuals	0.091949	53	0.0017349		
Total	0.218040	66			

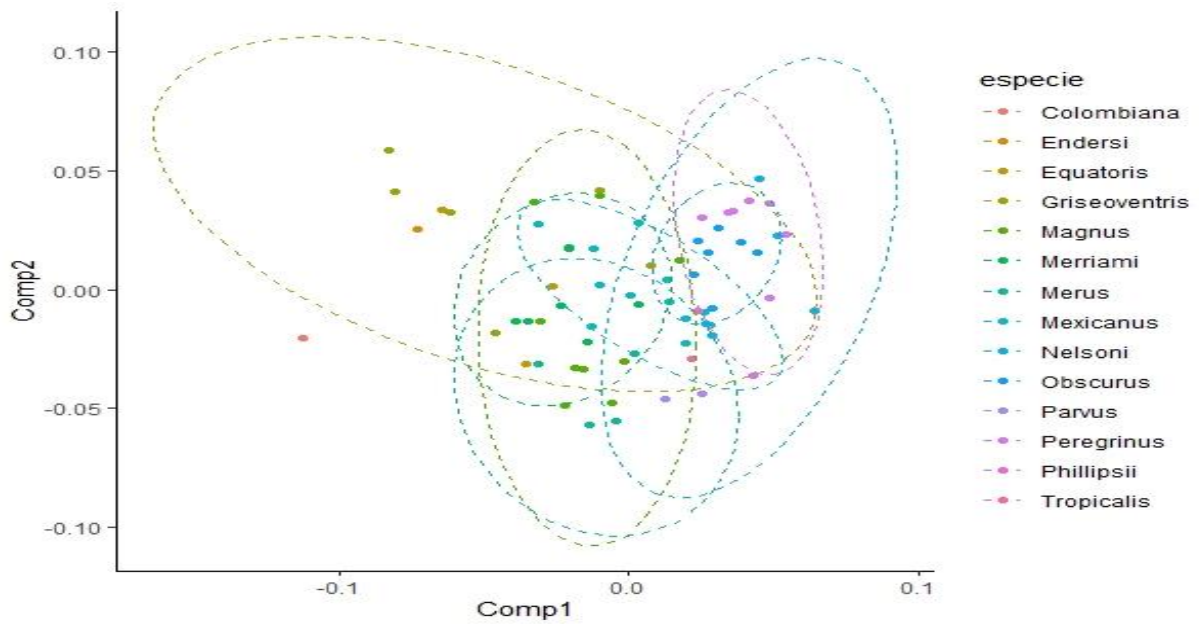


Figura 5. Diagrama obtenido de los PCA en la vista lateral, que muestra la variación de los organismos clasificados por su especie.

Para la vista de la mandíbula (Figura 6) se observa únicamente cuatro grupos formados, siendo más evidente en las especies de *C. griseoventris* y *C. magnus*, debido a que las elipses se encuentran más separadas del resto.

Tabla 6. Análisis de ANOVA en la mandíbula, refleja diferencias significativas entre las especies ($p = 0.001$).

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	P
Especie	0.094425	9	0.0104916	5.5722	0.001
Residuals	0.073432	39	0.0018829		
Total	0.167857	48			

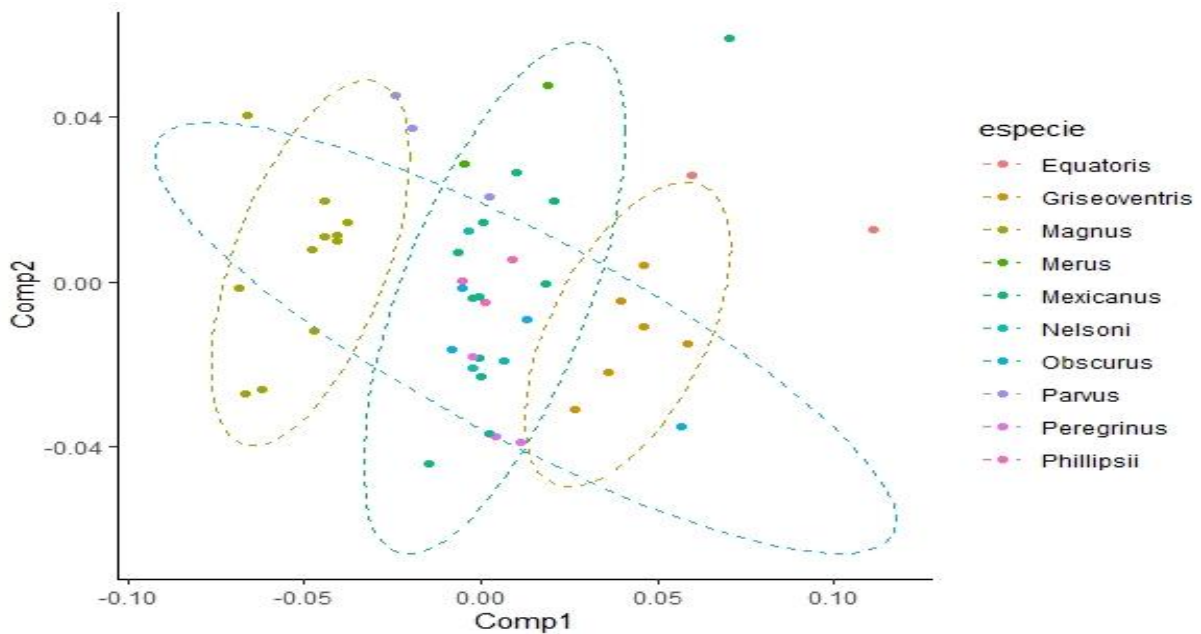


Figura 6. Diagrama obtenido de los PCA en la mandíbula que muestra la variación de los organismos clasificados por su especie.

5.5.2 Discusión

En los resultados obtenidos para la comparación morfométrica basado en puntos de referencia para examinar la variación de la forma en las distintas vistas del cráneo (dorsal, ventral, lateral y mandíbula) de las diferentes especies de musarañas pertenecientes al género *Cryptotis* podemos encontrar diferencias significativas ($p < 0.05$) en el análisis de varianza (ANOVA) en la forma de las distintas vistas, lo que indica que estas especies son distintas en su morfometría, en el PCA se muestran las diferencias entre los grupos clasificados por su especie en los que unos son más evidentes que otros. De acuerdo con los grupos formados en el PCA para cada una de las vistas del cráneo se ubicaron grupos que muestran una mayor diferencia a comparación de los otros grupos (ver figura 3, 4, 5 y 6).

Las diferencias mostradas en la investigación pueden relacionarse con una investigación realizada por Cornette et al. (2012) donde encontró diferencias significativas en la forma de la mandíbula en poblaciones de la musaraña *Crociodura leucodon* muestreadas en dos zonas geográficas diferentes, en las que asignó en el primero grupo como continentales y las segundas como insulares e indica que las diferencias en la forma revelan patrones

funcionales, como puede ser el caso de la mordida el cual se puede vincular a las diferencias en disponibilidad de alimentos y cambios en la dieta. Por lo que las diferencias demostradas en nuestra investigación pueden ser relacionadas a la disponibilidad de alimentos que tenía cada una de las diferentes especies al ser estas de distintas regiones geográficas, llevaron un cambio adaptativo al medio en que se encontraban.

De acuerdo con Páres-Casanova (2019) en un análisis morfométrico del cráneo que realizó para *S. floridanus* y *S. brasiliensis* de especímenes examinados que procedían de la colección de mastológica del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, demostró diferencias significativas entre las especies en la forma y tamaño del cráneo y en el suponen que estas diferencias en la estructura craneal son debidas a cambios en los patrones de desarrollo a la vista de requerimientos ecológicos en las especies estudiadas.

Las diferencias de la forma también pueden ser relacionadas con un estudio de musarañas acuáticas polacas que reportó Rychlik et al. (2006) en el que revelaron que las diferencias en la forma del cráneo y mandíbula en poblaciones de *N. milleri* y *N. fodiens* tenían dos explicaciones. En la primera hace mención a una mayor plasticidad fenotípica y en la otra indica un espectro de alimentación más amplio, en esta última permitiendo a la especie aventurarse a hábitats diferentes y por lo mismo teniendo adaptación a diversas condiciones ambientales. Estas teorías respecto a las diferencias en la forma también podrían sostenerse con otro estudio referido por Moreno-Cárdenas y Román-Carrión (2017) en el que estudiaron el fémur y humeral de musarañas del género *Cryptotis* en el que la forma y dimensión de las estructuras morfológicas las asociaron con el tipo de suelo presente en el ecosistema ya que si este era por ejemplo un suelo duro la musaraña debía adaptarse para cavar sus madriguera y canales.

La diferenciación en la forma de los organismos en las vistas del cráneo puede ser una respuesta adaptativa para sobrevivir a las diferentes condiciones en las que se desarrollaron las especies a las que pueden atribuirse, cambios ambientales, competitividad y disponibilidad de alimentos. Sin embargo, el campo de estudio de las musarañas aun requiere estudios más a fondo para determinar si esto sería correcto o no, debido a que la investigación acerca de estos organismos aún es insuficiente.

6. Impactos de las actividades del servicio social

En el proceso del estudio de cráneos para el género *Cryptotis* en el Instituto de Biología (UNAM), se pusieron en práctica conocimientos científicos y metodológicos que fueron adquiridos durante la licenciatura en Biología, para contribuir en el estudio de la morfometría geométrica de los cráneos, en este caso de las musarañas, revisando imágenes pertenecientes a las colecciones KU y USNM. Trabajo que se agregó para sumar información que promueva la investigación, conservación y conocimiento respecto a las musarañas.

7. Fundamento de las actividades del servicio social

Es importante colaborar con estudios de las musarañas para comprender y mejorar el conocimiento que se tiene de ellas. Se sugiere crear programas de monitoreo y conservación en áreas donde se distribuyan las especies, ya que la mayoría de estas se encuentran establecidas en alguna categoría de conservación dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Norma Mexicana de Conservación, SEMARNAT, 2010). Por lo que se requiere más especialistas en el estudio de las musarañas para fomentar el aprendizaje y manejo de estas especies.

8. Referencias

- Adams, D., Rohlf, F. J., Slice, D. (2013). A field comes of age: geometric morphometrics in the 21st century. *Hystrix The Italian Journal of Mammalogy*, 24, 7-14.
- Adams, D. C., Rohlf, F. J., Slice, D. E. (2004). Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. *Italian Journal of Zoology*, 71, 5-16.
- Asher, R. J., Helgen, K. M. (2010). Nomenclature and placental mammal phylogeny. *BMC Evolutionary Biology*, 10, 1-9.
- Choate, J. R. (1970). Systematics and zoogeography of Middle American shrews of the genus *Cryptotis*. *University of Kansas Publications., Museum of Natural History* 19, 195-317.
- Cornette, R., Herrel, A., Cosson, J. F., Poitvein, F., Baylac, M. (2012). Rapid morpho-functional changes among insular populations of the greater white toothed shrew. *Biological Journal of the Linnean Society*, 107, 322-331.

- Esteva, M., Arroyo, C. J., Martínez, A. F., Johnson, E., Polaco, O. J. (2005). Fossil shrews from San Josecito Cave, Nuevo León, México. *International Society of Shrew Biologists, Special Publication*, 1, 31-47.
- Finlay, S., Cooper, N. (2015). Morphological diversity in tenrecs (Afrosoricida, Tenrecidae): comparing tenrec skull diversity to their closest relatives. *PeerJ*, 3, e927.
- Galán, A. L. (2016). Morfometría geométrica: el estudio de la forma y su aplicación en biología. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 19, 53-59.
- García, F. J., Sánchez-González, E. (2013). Morfometría geométrica craneal en tres especies de roedores arborícolas neotropicales (Rodentia: Cricetidae: Rhipidomys) en Venezuela. *Therya*, 4, 157-178.
- Guevara, L. (2019). Las musarañas son importantes. *Therya*, 10, 1-2.
- Kendall, D. G. (1977). The diffusion of shape. *Advances in Applied Probability*. 9, 428-430.
- Klingenberg, C. P. (2010). Evolution and development of shape: integrating quantitative approaches. *Nature Reviews Genetics*, 11, 623-635.
- Marcus, L. F., (1990). Traditional morphometrics. In: F. J. Rohlf and F. L. Bookstein (eds), Proceedings of the Michigan morphometrics workshop. Spec. Publ. No. 2. *University of Michigan Museum of Zoology, Ann Arbor*, 77-122pp.
- Moreno-Cárdenas P. A., Román-Carrión, J. L. (2017). Musarañas del género *Cryptotis* (Eulipotyphla: Soricidae) en el Pleistoceno Tardío de los Andes Ecuatorianos. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 69, 421-432.
- Panchetti, F., Scalici, M., Carpaneto, G. M., Gilbertini, G. (2008). Shape and size variations in the cranium of elephant shrews: a morphometric contribution to a phylogenetic debate. *Zoomorphology*, 127, 69-82.
- Parés-Casanova, P. M. (2019). Estudio del cráneo mediante morfometría geométrica en dos especies de *Sylvilagus* Gray, 1867 (Mammalia: Lagomorpha). *Graellsia*, 75, e086.
- Quiroga, C. M., 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, 1-20.
- Rohlf, F. J., Marcus, L. F. (1993). A revolution morphometrics. *Trends in Ecology and Evolution*, 8, 129-32.
- Rohlf, F. J., Slice, D. (1990). Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. *Systematic Biology*, 39, 40-59.
- Rychlik, L., Ramalhinho, G., Polly, P. D. (2006). Response to environmental factors and competition: skull, mandible and tooth shapes in Polish water shrews (*Neomys*, Soricidae, Mammalia). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 44, 339-551.
- Saeedzadeh, S., Mehdipour, A., Darvish, J., Aliabadian, M., Mahmoudi, A. (2017). New look to the con-specificity of the two shrews, *Crocidura gmelini* and *C. suaveolens* from Iran; geometric morphometric approach. *Irian Journal of Animal Biosystematics*, 13, 237-246.
- SEMARNAT. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección Ambiental Especies nativas de México de flora y fauna silvestres Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación 30 diciembre, 2010.
- Slice, D. E. (2007). Geometric morphometrics. *Annual Review of Anthropology*, 36, 261-281.
- Toro-Ibacache, M. V., Manriquez S., G., Suazo G., I. (2010). Geometric morphometry and the study of biological forms: from descriptive morphology to quantitative morphology. *International Journal of Morphology*, 28, 977-990.
- Vega-Bernal, R. R. (2010). Phylogeographic and morphometric studies on the Eurasian pygmy shrew *Sorex minutus*: insights into its evolutionary history and postglacial colonisation in Europe (Doctoral dissertation, University of York).
- Villalobos L., A., Benítez, H. A. (2020). Morfometría geométrica y sus nuevas aplicaciones en ecología y biología evolutiva. Parte 2. *International Journal of Morphology*, 38, 1818-1836.

- Woodman, N. (1996). Taxonomic status of the enigmatic *Cryptotis avia* (Mammalia: Insectivora: Soricidae), with comments on the Distribution of the Colombian Small Eared shrew, *Cryptotis colombiana*. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 109, 409-418.
- Woodman, N., Croft, D. A. (2005). Fossil shrews from Honduras and their significance for late glacial evolution in body size (Mammalia: Soricidae: Cryptotis). *Fieldiana Geology*, 51, 1-30.
- Woodman, N., Péfaur, J. E. (2008). Magnorder Epitheria. Order Soricomorpha Gregory, 1910. In: Gardner, A. L. (Ed). *Mammals of South America, Marsupials, Xenartbrans, Shrews, and Bats*. University of Chicago Press, Chicago, 1, 177-187.
- Woodman, N., Timm, R. (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., Timm, R. (1999). Geographic variation and evolutionary relationships among broad clawed shrews of the *Cryptotis golmani* group (Mammalia: Insectivora: Soricidae). *Fieldiana Zoology*, 91, 1-35.
- Woodman, N., Timm, R. (2000). Taxonomy and evolutionary relationships of Phillips small eared shrew, *Cryptotis phillipsii* (Schaldach, 1996), from Oaxaca, México (Mammalia: Insectivora: Soricidae). *Proceedings of The Biological Society of Washington*, 113, 339-355.
- Zeldich, M., Swiderski, D. L., Sheets, H. D., Fink, W. L. (2004). Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer New York, *Elsevier Academic Press*, New York, 290p.